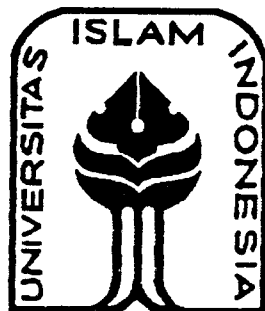
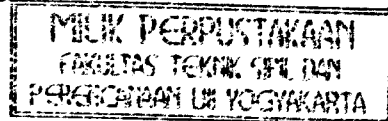


LAPORAN TUGAS AKHIR
PERILAKU BALOK BADAN TERBUKA
DENGAN VARIASI SUDUT BATANG DIAGONAL

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
derajat sarjana S-1 Teknik Sipil



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Oleh :

N a m a : M. Yudha Anrofa
No. Mhs : 96 310 054
NIRM : 960051013114120047

N a m a : M. Busron Hanafi
No. Mhs : 96 310 094
NIRM : 960051013114120081

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2002

HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
PERILAKU BALOK BADAN TERBUKA
DENGAN VARIASI SUDUT BATANG DIAGONAL

N a m a : M. Yudha Anrofa
No. Mhs : 96 310 054
NIRM : 960051013114120047

N a m a : M. Busron Hanafi
No. Mhs : 96 310 094
NIRM : 960051013114120081

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. Fatkhurrohman NS, MT

Dosen Pembimbing I

Ir. H. Suharyatmo, MT

Dosen Pembimbing II



Tanggal : 08/05/02



Tanggal : 29/4/02

Motto dan Persembahan

“, dan mereka tidak mengetahui apa-apa dari ilmu Allah, melainkan apa yang dikehendaki-Nya “

(QS. Al-Baqarah : 255).

“ Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat”

(QS. Al-Mujadillah : 11).

“, Katakanlah : “ adakah orang-orang yang mengetahui sama dengan orang-orang yang tidak mengetahui ?. Sesungguhnya orang-orang yang berakallah yang dapat menerima pelajaran “

(QS. Az-Zumar : 9).

Persembahan,

***Dengan penuh rasa syukur kehadiran Allah SWT,
Kupersembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada :
Bapak dan Ibunda tercinta,
adik-adikku, serta 'Habibiku'
yang selalu memberi semangat dalam bekerja.***

Persembahan,

***Dengan mengucap syukur kehadiran Allah SWT,
Kupersembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada :
Ayah dan Bunda tercinta,
kakak-kakakku, serta 'Habibiku'
yang selalu memberi semangat dalam bekerja.***

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu' alaikum Wr. Wb.

Puji dan puja syukur senantiasa penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala berkah, rahmat dan hidayah-Nya, serta sholawat serta salam semoga tetap tercurah kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Penyusunan laporan ini merupakan kewajiban bagi setiap mahasiswa, khususnya di lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, guna melengkapi salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan S-1. Laporan ini disusun berdasarkan hasil analisis laboratorium dan studi pustaka dari literatur yang berkaitan. Sesuai subyek penelitian ini, maka laporan ini diberi judul “PERILAKU BALOK BADAN TERBUKA GABUNGAN DENGAN VARIASI SUDUT BATANG DIAGONAL”.

Selama pelaksanaan di laboratorium, penyusunan dan penulisan laporan tugas akhir ini, penulis telah banyak mendapat bantuan dan petunjuk yang sangat bermanfaat dalam penyelesaian tugas akhir ini. Dalam kesempatan yang baik ini, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Fatkhurrohman NS, MT yang selalu memberikan petunjuk dan bimbingan selaku Dosen Pembimbing I tugas akhir.

2. Bapak Ir. H. Suharyatmo, MT yang telah memberikan petunjuk dan bimbingan selaku Dosen Pembimbing II tugas akhir.
3. Bapak Ir. Widodo, MSCE, Phd, selaku Dekan Fakultas Teknik sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
4. Bapak Ir. H. Munadhir, MS, selaku ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
5. Bapak dan Ibu Dosen serta karyawan Jurusan Teknik Sipil FTSP Universitas Islam Indonesia Yogyakarta..
6. Bapak dan Ibu, kakak-kakakku dan adikk-adikku tercinta, yang selalu memberi dukungan baik moral maupun material.
7. Dan teman-teman seperjuangan yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu, serta semua pihak yang telah membantu pelaksanaan dan penulisan tugas akhir ini.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan mendapatkan pahala yang setimpal dari Allah SWT.

Seperti kata peribahasa *tiada gading yang tak retak*, demikian pula dengan laporan tugas akhir ini. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan segala kritik dan saran yang membangun, agar laporan ini menjadi lebih sempurna lagi dan dapat bermanfaat.

Akhirnya, penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penyusun khususnya dan semua pihak yang membutuhkan.

Billahitaufiq wal hidayah,

Wassalamu'alaikum, Wr.Wb

Jogjakarta, April 2002

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| HALAMAN MOTTO PERSEMBAHAN | iii |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR TABEL | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR SIMBOL | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xv |
| INTISARI | xvi |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang Masalah | 1 |
| 1.2. Permasalahan | 2 |
| 1.3. Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.4. Batasan Masalah | 3 |
| 1.5. Manfaat Penelitian | 3 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| | |
| BAB III LANDASAN TEORI | 7 |
| 3.1. Pendahuluan | 7 |
| 3.2. Tekuk Pelat yang ditekan secara Merata | 12 |
| 3.2.1. Tekuk Lokal | 18 |
| 3.2.1.1. Tekuk Lokal pada Sayap | 18 |
| 3.2.1.2. Tekuk Lokal pada Badan | 19 |
| 3.2.2. Tekuk Primer | 21 |
| 3.3. Batang Tarik | 22 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4. Batang Tekan | 23 |
| 3.5. Alat Sambung Las | 26 |
| 3.6. Tegangan Residu | 29 |
| 3.7. Hubungan Sudut Batang Pengisi dan Pengaku pada Ujung Batang Vertikal dengan Batang Desak Atas Horizontal | 30 |
| 3.8. Hubungan Momen dengan Kelengkungan | 36 |
| 3.9. Hipotesis | 38 |
| | |
| BAB IV METODOLOGI PENELITIAN | 40 |
| 4.1. Metodologi Penelitian | 40 |
| 4.2. Bahan dan Peralatan | 41 |
| 4.2.1. Bahan | 41 |
| 4.2.2. Peralatan Penelitian | 42 |
| 4.3. Model Benda Uji | 45 |
| 4.4. Prosedur Penelitian | 47 |
| | |
| BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN | 50 |
| 5.1. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja dan Kuat Geser Las | 50 |
| 5.2. Hasil Pengujian Kuat Lentur Baja <i>Open Web Joist</i> | 50 |
| 5.2.1. Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian | 51 |
| 5.2.2. Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian | 60 |
| 5.3. Pembahasan | 66 |
| 5.3.1. Perilaku Elemen <i>Open Web Joist</i> | 66 |
| 5.3.2. Tekuk Lentur <i>Open Web Joist</i> ditinjau dari hubungan Momen-Kelengkungan | 70 |
| | |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN | 73 |
| 6.1. Kesimpulan | 73 |
| 6.2. Saran..... | 73 |

| | |
|-----------------------------|-------|
| DAFTAR PUSTAKA | xvii |
| LAMPIRAN | xviii |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| 1. Tabel 3.1. Persyaratan batang tarik | 23 |
| 2. Tabel 3.2. Kekuatan las | 27 |
| 3. Tabel 5.1. Hasil pengujian kuat tarik baja dan kuat geser las | 50 |
| 4. Tabel 5.2. Hubungan beban lendutan hasil pengujian benda uji I | 52 |
| 5. Tabel 5.3. Hubungan beban lendutan hasil pengujian benda uji II | 54 |
| 6. Tabel 5.4. Hubungan beban lendutan hasil pengujian benda uji III | 56 |
| 7. Tabel 5.5. Hubungan Momen-Kelengkungan benda uji | 59 |
| 8. Tabel 5.6. Hubungan Momen-Kelengkungan benda uji II | 60 |
| 9. Tabel 5.7. Hubungan Momen-Kelengkungan benda uji III | 62 |
| 10. Tabel 5.8. Kapasitas elemen benda uji I | 65 |
| 11. Tabel 5.9. Kapasitas elemen benda uji II | 66 |
| 12. Tabel 5.10. Kapasitas elemen benda uji III | 67 |
| 13. Tabel 5.11. Nilai kekakuan benda uji I, II dan III dengan $L = 6,00$ m..... | 72 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| 1. Gambar 3.1. a. Peristiwa pembebanan dan lendutan | 9 |
| b. Diagram momen | 9 |
| c. Diagram gaya geser | 9 |
| 2. Gambar 3.2. a. Gaya batang yang terjadi | 10 |
| b. Potongan melintang | 10 |
| 3. Gambar 3.3. a. Perilaku elemen | 11 |
| b. Grafik hubungan (b/t) dengan F_y | 11 |
| 4. Gambar 3.4. a. Pelat yang mendapat tekan merata | 13 |
| b. Elemen pelat dalam posisi lentur | 13 |
| c. Pelat-pelat pada sumbu x dan y | 13 |
| 5. Gambar 3.5. Tekuk pada sayap (jepit-bebas) | 18 |
| 6. Gambar 3.6. Tekuk horizontal pada badan (jepit-jepit) | 19 |
| 7. Gambar 3.7. Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar | 20 |
| 8. Gambar 3.8. Kekakuan pelat yang mengalami tekan tepi | 21 |
| 9. Gambar 3.9. Batang lurus dibebani gaya aksial desak | 24 |
| 10. Gambar 3.10. Faktor panjang efektif (k) untuk kolom yang dibebani secara terpusat dengan berbagai kondisi | 25 |
| 11. Gambar 3.11. Las sudut | 28 |
| 12. Gambar 3.12. Las sudut dengan sudut $\alpha = 90^\circ$ | 29 |
| 13. Gambar 3.13. Las sudut dengan sudut $\alpha = 0^\circ$ | 29 |
| 14. Gambar 3.14. Panjang efektif batang desak (L_e) profil C | 30 |
| 15. Gambar 3.15. Daerah plastis dan pengerasan regangan pada hubungan tegangan regangan untuk baja | 32 |
| 16. Gambar 3.16. Grafik tak berdimensi untuk kekuatan pelat dengan tekanan tepi | 32 |
| 17. Gambar 3.17. Kekuatan pelat untuk elemen yang tidak diperkuat dengan tepi sendi dan tepi lainnya bebas | 34 |

| | |
|--|----|
| 18. Gambar 3.18. Hubungan antara beban (P) dan lendutan (Δ) | 36 |
| 19. Gambar 3.19. Hubungan momen (M) dan kelengkungan (ϕ) | 38 |
| 20. Gambar 4.1. Flowchart metodologi penelitian | 40 |
| 21. Gambar 4.2. <i>Universal Testing Material Shimatzu UMH30</i> | 42 |
| 22. Gambar 4.3. Dukungan sendi dan rol | 42 |
| 23. Gambar 4.4. <i>Loading Frame</i> | 43 |
| 24. Gambar 4.5. <i>Dial Gauge</i> | 44 |
| 25. Gambar 4.6. <i>Hydarulic Jack</i> | 44 |
| 26. Gambar 4.7. a. Model benda uji I dengan 3 buah <i>dial gauge</i> | 45 |
| b. Model benda uji II dengan 3 buah <i>dial gauge</i> | 45 |
| c. Model benda uji III dengan 3 buah <i>dial gauge</i> | 45 |
| 27. Gambar 4.8. Benda uji tarik profil C canai | 46 |
| 28. Gambar 4.9. Benda uji kuat geser las | 47 |
| 29. Gambar 5.1. Grafik hubungan beban-lendutan benda uji I | 53 |
| 30. Gambar 5.2. Grafik dimensional hubungan beban-lendutan benda uji I .. | 53 |
| 31. Gambar 5.3. Grafik hubungan beban-lendutan benda uji II | 55 |
| 32. Gambar 5.4. Grafik dimensional hubungan beban-lendutan benda uji II .. | 55 |
| 33. Gambar 5.5. Grafik hubungan beban-lendutan benda uji III | 57 |
| 34. Gambar 5.6. Grafik dimensional hubungan beban-lendutan benda uji III | 57 |
| 35. Gambar 5.7. Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan benda uji I, II dan III | 58 |
| 36. Gambar 5.8. Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan dengan hasil perhitungan numeris SAP 90 benda uji I, II dan III | 59 |
| 37. Gambar 5.9. Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji I | 61 |
| 38. Gambar 5.10. Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji II | 62 |
| 39. Gambar 5.11. Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji III | 64 |
| 40. Gambar 5.12. Grafik perbandingan hubungan momen-kelengkungan dengan benda uji I, II dan III | 65 |

DAFTAR SIMBOL

| | |
|-----------|---|
| A | = Luas penampang, mm^2 |
| b | = lebar sayap profil, mm |
| h | = tinggi badan profil, mm |
| t | = tebal profil, mm |
| E | = modulus elastisitas, N/mm^2 |
| k | = koefisien tekuk |
| μ | = angka poisson |
| π | = konstanta |
| f | = tegangan, N/mm^2 |
| F_{cr} | = tegangan kritis, N/mm^2 |
| F_y | = tegangan leleh, N/mm^2 |
| F_a | = tegangan ijin, N/mm^2 |
| P | = beban, kN |
| P_{cr} | = beban kritis, kN |
| M | = momen, kN.m |
| M_n | = momen nominal, kN.m |
| I | = momen Inersia, m^4 |
| Δ | = lendutan, mm |
| ϕ | = kelengkungan, $1/\text{mm}$ |
| θ | = sudut kelengkungan, $^\circ$ |
| d | = diameter, mm |
| Q | = faktor bentuk profil |
| Q_s | = faktor bentuk elemen yang tak diperkuat |
| Q_a | = faktor bentuk elemen yang diperkuat |
| λ | = kelangsingan |
| C_c | = kelangsingan kritik |
| L | = panjang balok, m |
| L_k | = panjang tekuk, m |
| r | = jari-jari kelembaman, m |

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran I Tegangan bahan profil C canai
- Lampiran II Perhitungan dimensi batang pengisi
- Lampiran III Kontrol perhitungan rencana batang pengisi
- Lampiran IV Perhitungan batang tekan profil C canai
- Lampiran V Kontrol perhitungan las
- Lampiran VI Hasil uji pendahuluan
- Lampiran VII Hasil analisis SAP 90 beban rencana
- Lampiran VIII Hasil analisis SAP 90 beban laboratorium

INTISARI

Penggunaan profil C canai dingin sebagai komponen struktur tekan pada bangunan banyak ditemui di lapangan. Profil C ini rawan terhadap peristiwa tekuk lokal karena elemen pelat pembentuk penampang mempunyai rasio lebar terhadap tebal relatif besar. Stabilitas struktur lentur canai dingin perlu diperhatikan karena dapat mengakibatkan kegagalan dini, yaitu keruntuhan pada tegangan yang relatif rendah. Ketidakstabilan struktur lentur dapat berupa tekuk lokal (*local buckling*) dan tekuk puntir lateral (*lateral torsional buckling*). Tekuk lokal merupakan fungsi rasio lebar terhadap tebal (b/t), sedangkan tekuk puntir lateral merupakan fungsi rasio panjang terhadap jari-jari minimum (L_b/r_y).

Penelitian eksperimental tiga benda uji struktur rangka batang dengan profil C canai dingin yang dihubungkan dengan batang vertikal dan diagonal menggunakan las. Tiga benda uji menggunakan variasi batang diagonal masing-masing 45° , 50° , dan 60° . Penelitian kuat lentur balok badan terbuka bertujuan untuk mempelajari perilaku struktur lentur profil C canai dingin, yaitu hubungan Beban-Lendutan ($P-\Delta$), Momen-Kelengkungan ($M-\phi$) dan Daktilitas.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sebelum struktur runtuh akibat pembebanan statik bertahap mengalami tiga fase, yaitu *fase elastis*, *fase elastis-plastis*, dan *fase plastis*. Profil C canai dingin dengan $(b/t) \geq 25$ mengalami keruntuhan pada tegangan rendah, yaitu 113,833 Mpa. Hal ini disebabkan profil C mengalami tekuk lokal pada sayap. Usaha untuk menaikkan tegangan kritis dengan mengubah panjang efektif (L_k) profil C canai dingin sudah berhasil, walaupun dengan kenaikan yang relatif sangat kecil.

Kata kunci : Tekuk lokal, Tekuk puntir lateral, Rasio lebar terhadap tebal.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dewasa ini penggunaan baja sebagai struktur bangunan semakin meningkat, artinya telah terjadi kenaikan volume penggunaan baja. Baja sebagai bahan struktur mempunyai keuntungan kekuatan yang cukup tinggi serta merata. Kekuatan yang tinggi ini mengakibatkan komponen struktur yang terbuat dari baja pada umumnya mempunyai ukuran tampang yang relatif kecil jika dibandingkan dengan struktur dari bahan lainnya, seperti beton. Oleh karena itu, beban struktur cukup ringan sekalipun berat jenis baja tinggi.

Penggunaan baja sebagai struktur dalam inovasinya diharapkan untuk tujuan efisiensi tanpa meninggalkan kualitas dan kekuatannya. Salah satu cara memperoleh komponen struktur lentur efisien adalah dengan merangkai profil-profil bentukan dingin bersama batang-batang bulat membentuk sebuah balok badan terbuka (*Open Web Joist*). *Joist* baja sendiri adalah rangkaian baja standart yang diprepabrikasikan untuk digunakan pada awalnya sebagai penumpu langsung dek lantai dan atau dek atap pada gedung. Elemen struktur ini biasanya digunakan bersama dek logam baja gelombang dan memberikan sistem lantai yang ekonomis dan efisien pada gedung yang dibebani relatif ringan.

Kelemahan profil baja bentukan dingin (*Cold-formed*) terdiri dari elemen tipis dengan penampang yang langsing (b/t), maka besar kemungkinan mengalami kegagalan prematur yang berarti dapat mengurangi efisiensi. Hal ini dapat menyebabkan terjadi keruntuhan tekuk lentur jauh di bawah tegangan leleh baja. Untuk menghindari kegagalan lebih awal profil C pada jarak tertentu dipasang pengaku dari pelat tipis dan memperpendek panjang efektif tekuk. Walaupun belum ada peraturan yang membahas tentang profil (*Cold-formed*) secara detail yang tidak memenuhi tekuk setempat, *Open Web Joist* yang terbuat dari canai dingin tersebut sudah banyak digunakan untuk komponen struktur, meskipun dalam bentang-bentang yang masih terbatas. Untuk itu, perilaku profil C dengan perkuatan menarik untuk dikaji dan dilakukan penelitian.

1.2. Permasalahan

- 1 Diperlukan modifikasi dalam penggunaan baja non-struktural sebagai alternatif penggunaan baja struktural.
- 2 Profil C canai terdiri dari elemen tipis yang dapat menyebabkan terjadinya tekuk lokal.

1.3. Tujuan

1. Mempelajari perilaku balok badan terbuka dengan berbagai sudut batang diagonal.
2. Membandingkan peningkatan kuat lentur balok badan terbuka gabungan yang menggunakan variasi sudut batang pengisi diagonal dari hubungan beban-lendutan dan momen-kelengkungan.

1.4. Batasan Masalah

1. Profil baja yang digunakan adalah baja profil C canai dingin sebagai batang horizontal menerus yang dirangkaikan dengan baja tulangan polos sebagai batang pengisi dengan menggunakan variasi sudut pada batang pengisi diagonal.
2. Ukuran *Open Web Joist* panjang bentang 6,00 meter dan tinggi (h) 0,60 meter serta menggunakan pengaku pelat tipis dengan ketebalan 2 mm.
3. *Bracing* menggunakan baja tulangan polos (BjTp) $\varnothing 10$ mm, $\varnothing 12$ mm, dan $\varnothing 16$ mm.
4. Bentuk rangka batang *Pratt* dengan variasi sudut batang pengisi 45° , 50° , dan 60° dengan ketinggian h konstan.
5. Sambungan profil dengan las yang menggunakan elektroda E70XX
6. Perletakan atau tumpuan diasumsikan sebagai sendi dan rol.
7. *Open Web Joist* hanya dibebani dengan pembebanan statik bertahap.
8. Dari penelitian ini yang ditinjau adalah perilaku tekuk lentur dengan mencegah tekuk puntir lateral.

1.5. Manfaat

1. Menggunakan kurva hubungan momen-kelengkungan dapat diketahui kekakuan dan *ductilitas* simpangan dari *Open Web Joist*.
2. Menggunakan kurva hubungan momen-kelengkungan dapat diketahui *ductilitas* lengkung (*curvature ductility*) dan momen maksimum yang dapat didukung sehingga tegangan kritis dapat dijadikan sebagai dasar perencanaan pada *Open Web Joist* dapat ditentukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Balok badan terbuka adalah balok yang badannya tidak solid dan tersusun dari batang-batang profil yang membentuk struktur rangka (*Bogdan O. Kuzmanovic dan Nicholas Willems, 1977*). Hal serupa juga dikemukakan oleh (*Omer W. Boldgett*) yang mengatakan bahwa balok badan terbuka sebagai *bar joist* yang batang pengisinya berbentuk bulat dan tidak kompak.

Dalam perencanaan struktur rangka batang, tempat pertemuan batang-batang sering diasumsikan sebagai keadaan ideal seperti keadaan sendi maupun jepit sempurna. Hal ini sangat berlainan dengan keadaan yang sesungguhnya terjadi di lapangan, dimana sambungan pada joint dipakai sambungan las, sambungan baut, maupun dipakai sambungan paku keling. Sifat dari sambungan tersebut tidak sama persis dengan keadaan ideal seperti sendi maupun jepit sempurna (*Padospajayo, 1991*).

Kerangka kaku adalah sebuah struktur kerangka dimana batang-batang komponen bertemu pada simpul-simpul yang kaku, seperti yang dilambangkan oleh simpul-simpul yang dilas pada baja struktural atau simpul-simpul yang dicor secara monolit pada beton bertulang (*Chu-Kia Wang, 1985*).

Struktur rangka *frame* yang memiliki kekakuan yang jauh lebih besar dalam satu arah dibandingkan dengan arah yang lain dapat diperlakukan sebagai portal bidang, tetapi jika kekakuan dalam satu arah mempengaruhi arah yang lain

maka struktur tersebut merupakan struktur portal ruang (*Salmon dan Johnson, 1990*).

Semua bentuk penampang profil baja terdiri dari elemen-elemen pelat, di mana tekuk pada pelat baja ditinjau berdasarkan angka kelangsingan untuk penampang melintang keseluruhan. Tetapi, tekuk setempat (lokal) dapat terjadi lebih dahulu pada salah satu elemen pelat pembentuk penampang sehingga efisiensi penampang lintang berkurang (*Salmon dan Johnson, 1990*).

Kekuatan balok dari profil bentukan dingin yang dibatasi oleh gaya geser dan momen lentur dapat menghasilkan tekuk, puntir, dan leleh pada elemen penyusunnya. Keruntuhan pelat merupakan rasio lebar terhadap tebal (h/t) dan konstanta (k) yang tergantung pada jenis tegangan, kondisi tepi-tepi pelat, dan rasio panjang terhadap lebar (L/b). Semakin besar (h/t) suatu pelat tegangan kritisnya semakin rendah sehingga keruntuhan lokal terjadi jauh di bawah tegangan lelehnya (*Bresler, dkk, 1967*).

Keruntuhan kolom pendek dengan (L/r) kurang dari 20, hanya terjadi keruntuhan tekuk setempat (*local buckling*). Pada kolom menengah untuk (L/r) antara 20-120 keruntuhan *local buckling* terjadi beban di bawah beban *ultimate*, tetapi keruntuhan akhir terjadi dari kombinasi *local buckling* dan keruntuhan sistem (*primary buckling*). (*Brasler, dkk, 1967*).

Pembebanan kekuatan batang tekan sampai saat ini menganggap bahwa kedua ujung batang tekan adalah sendi atau tidak mengekang momen, pada keadaan sesungguhnya pengekangan momen di ujung selalu ada (*Salmon dan Johnson, 1990*).

Kuat lentur pada pelat umumnya berkaitan dengan sayap dan badan profil.

Badan balok yang ramping dapat menyebabkan berbagai persoalan :

1. Tekuk akibat lentur pada bidang badan balok akan mengurangi efisiensi badan balok itu untuk memikul bagian elastis dari momen lentur.
2. Tekuk sayap tekan dalam arah vertikal karena kurangnya kekakuan badan balok untuk mencegah terjadinya tekuk sedemikian rupa.
3. Tekuk karena geser. (*Salmon dan Johnson, 1990*).

Tarikan atau tekanan yang bekerja bersama-sama dengan lenturan menimbulkan masalah tegangan gabungan. Jenis batang yang akan digunakan akan tergantung pada jenis tegangan yang dominan. Batang yang mengalami tekanan dan lenturan sekaligus disebut balok-kolom (*Salmon dan Johnson, 1990*).

Pada penelitian ini juga menggunakan tinjauan pustaka penelitian yang pernah dilakukan, yaitu : *Penelitian Legowo Aji D. dan A.Subekti (2001)*. Peneliti mengambil pokok bahasan mengenai kekuatan lentur dari balok profil badan terbuka dengan panjang bentang 3 meter. Pada penelitian ini peneliti menjelaskan bahwa batang horizontal dari balok profil C canai dingin yang berhadapan (*front to front*) memiliki kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan balok profil C canai dingin yang saling membelakangi (*back to back*). Dan tekuk pada profil C canai dingin terjadi pada sayap yang terbuat dari pelat tipis dengan perbandingan $(b/t) \geq 25$, dimana tegangan kritisnya jauh di bawah tegangan lelehnya.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Pendahuluan

Keruntuhan pada balok dapat terjadi karena salah satu hal berikut ini :

1. Tegangan-tegangan yang terjadi pada balok melebihi kapasitas tegangan yang dapat diterima oleh material balok tersebut (untuk balok yang relatif besar).
2. Tegangan-tegangan yang terjadi pada balok menyebabkan balok berada dalam keadaan tidak stabil (untuk balok langsing).

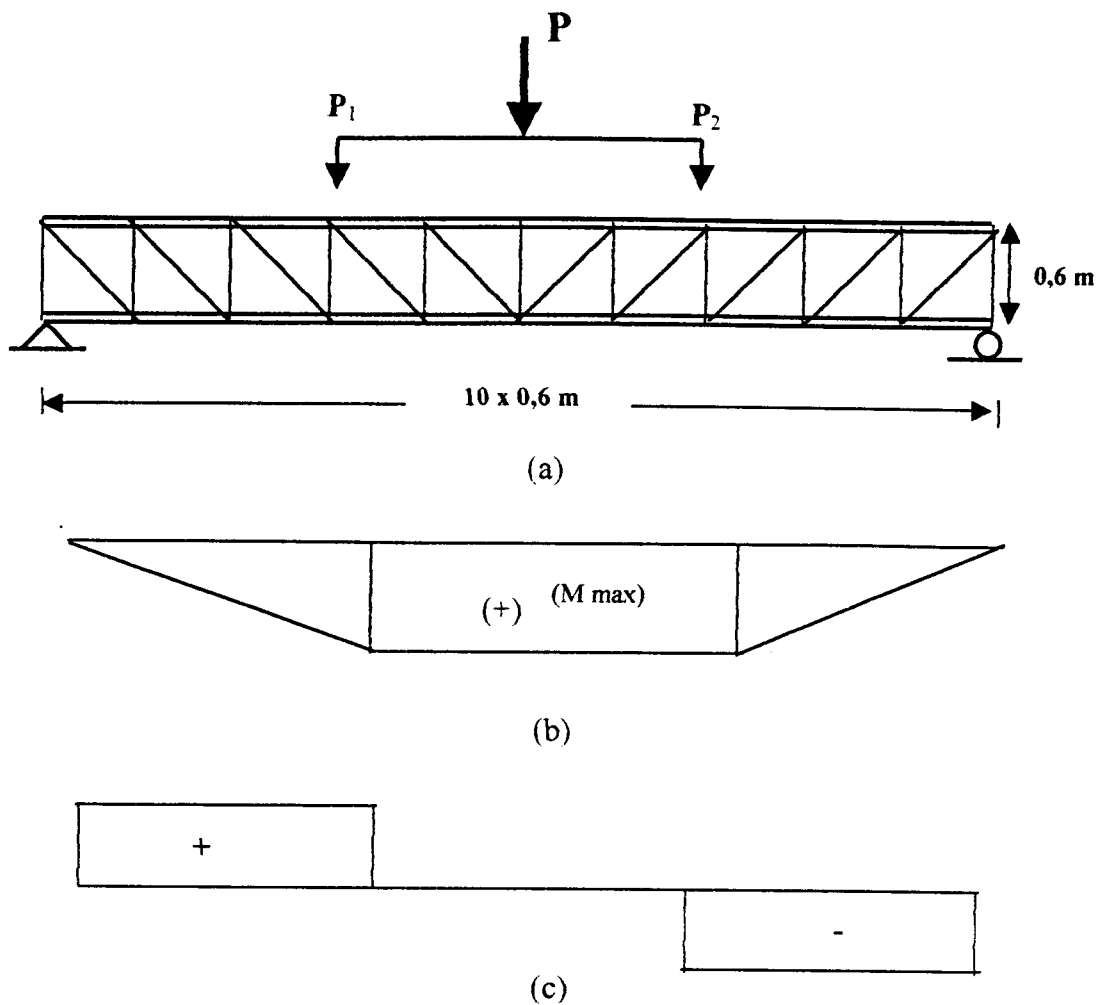
Ketidakstabilan pada balok biasanya dikenal sebagai masalah tekuk pada balok. Perilaku balok yang mengalami tekuk dapat diuraikan sebagai berikut : Sebuah balok yang dikenai beban yang bertambah secara perlahan-lahan akan mengalami lendutan pada arah beban yang diberikan sampai akhirnya balok tertekuk keluar bidang pembebanan. Keruntuhan dari balok langsing lurus dimulai saat penambahan tegangan pada keadaan tekuk lateral elastis menyebabkan leleh. Sebuah balok dengan ketebalan menengah dapat leleh sebelum beban tekuk tercapai, hal ini terjadi akibat pengaruh kombinasi tegangan momen dan residu, dan leleh dapat terjadi setelah tekuk plastis tercapai (*Chen, W.F dan Atsuta, T, 1997*)

Tekuk pada balok merupakan masalah kestabilan. Balok akan tetap stabil jika beban yang diterimanya relatif kecil, tetapi jika beban yang diterimanya terus

menerus diperbesar maka akan terjadi ketidakstabilan . Jika keseimbangan netral dianggap sebagai suatu keadaan transisi antara stabil dan labil, maka beban yang menyebabkan terjadinya keseimbangan netral disebut dengan beban kritis. Untuk itu, dalam menentukan beban kritis yang dapat diterima oleh balok dapat menggunakan konsep keseimbangan.

Struktur balok badan terbuka (*open web*) dengan tumpuan sederhana dapat dipandang sebagai struktur rangka batang, tampak pada Gambar (3.1.a.). Bila struktur tersebut menerima beban transversal yang tegak lurus dengan dengan sumbu longitudinal, maka struktur akan mengalami deformasi dan menerima momen, hal ini mengakibatkan terjadinya lentur pada balok. Pemberian beban lentur diatur sedemikian rupa sehingga beban lentur yang diterimanya adalah beban lentur searah (lentur yang terjadi pada satu bidang). Muatan biasanya dianggap bekerja pada *shear-centre* (titik pusat geser), sehingga torsi dapat diabaikan. (*Padosbajayo, 1994*).

Dalam proses analisis, yang perlu ditinjau adalah masalah momen. Nilai momen yang paling kritis akan sangat menentukan dalam perhitungan, seperti pada Gambar (3.1.b.). Besar momen maksimum (*M maks*) ini terjadi pada bagian elemen yang tidak mengalami gaya geser ($V = 0$), seperti pada Gambar (3.1.c.). Untuk diagram momen dan geser yang terjadi tampak pada Gambar (3.1.b.) dan Gambar (3.1.c.) ini digambar dengan mengabaikan berat balok sendiri dan hanya meninjau kedua beban terpusat (P).

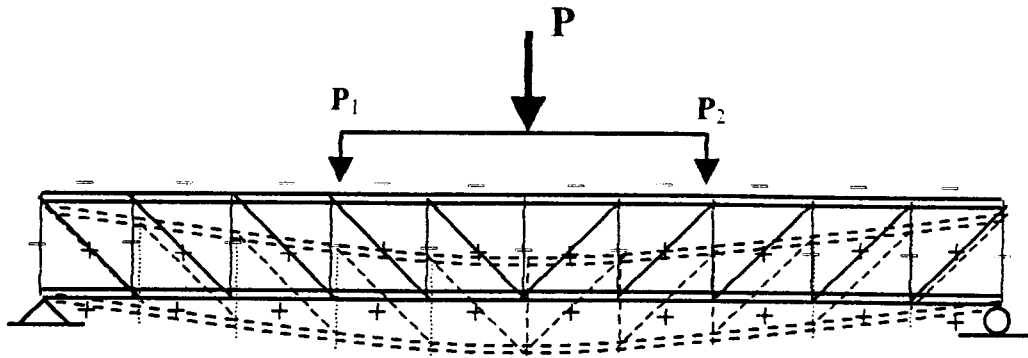


Gambar 3.1.(a). Peristiwa pembebanan dan lendutan.

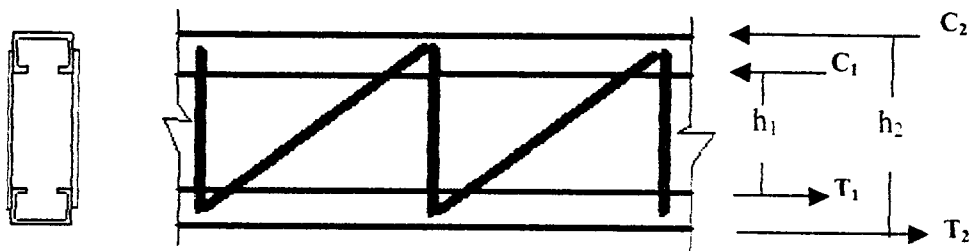
(b). Diagram momen.

(c). Diagram gaya geser

Jika ditinjau dari gaya gaya yang bekerja, batang tepi atas dan batang vertikal pada struktur tersebut mengalami gaya tekan, stabilitas struktur tekan perlu mendapat perhatian karena sangat peka terhadap faktor-faktor yang dapat mengakibatkan tekuk (*buckling*), sedangkan pada batang bagian bawah dan batang diagonal akan mengalami gaya tarik seperti Gambar (3.2.a).



3.2. (a) Gaya batang yang terjadi



3.2. (b). Potongan melintang

Batang tekan dari profil diwaspadai, karena profil C canai dingin rawan terjadi tekuk (*buckling*). Gaya tekan $C = P_{cr}$ diperoleh berdasarkan tegangan kritis yang terjadi (P_{cr}) dikalikan dengan luas penampang (A), yaitu :

$$P_{cr} = F_{cr} \cdot A \quad (3.1)$$

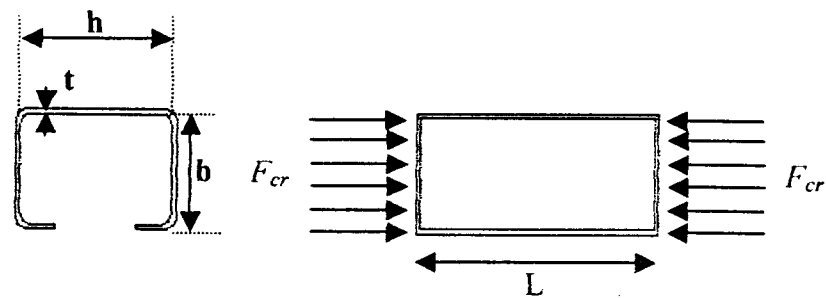
Mengacu pada Gambar (3.2.b), hubungan antara Momen Nominal dengan P_{cr} pada struktur rangka adalah :

$$M = P_{cr} \cdot h \quad (3.2)$$

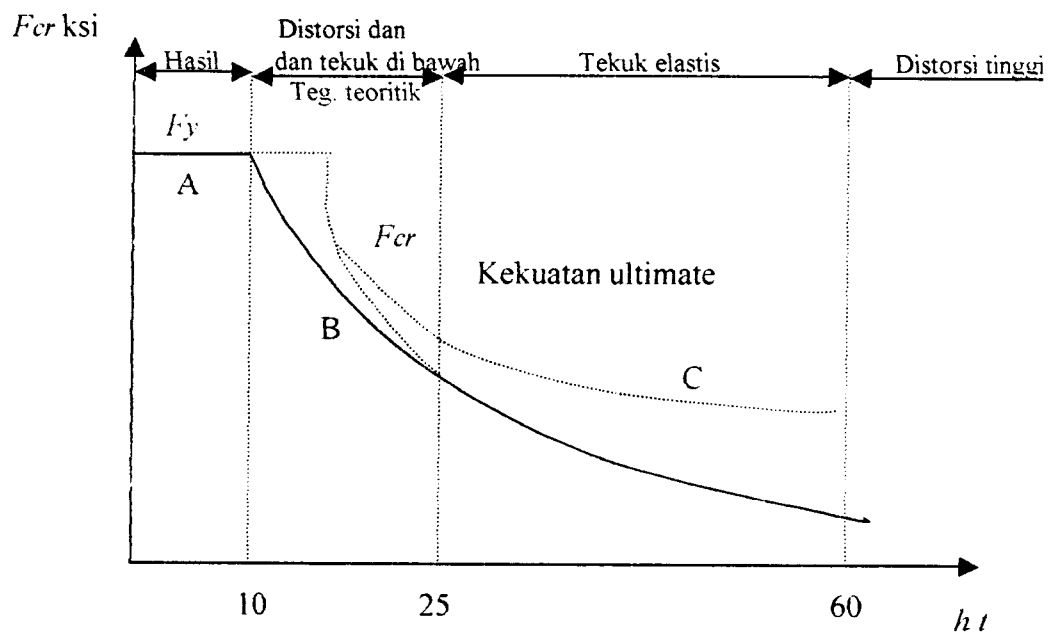
$$M = C_1 \cdot h_1 + C_2 \cdot h_2 \quad (3.3)$$

Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai h , maka momen nominalnya akan semakin besar, momen internal pada struktur rangka tersebut merupakan penjumlahan dari kopel gaya.

Tegangan kritis profil C canai dingin yang dianalisis berperilaku sebagai pelat dipengaruhi oleh rasio (h/t) pada badan dan nilai (b/t) pada sayap, semakin tinggi nilai perbandingan (h/t) atau (b/t), maka tegangan kritisnya semakin rendah dapat dilihat pada Gambar (3.3.b) (Salmon dan Johnson, 1990).



(a)



(b)

Gambar 3.3. (a) Perilaku Elemen

(b) Grafik hubungan h/t dengan F_y

Boris Bresler/T.Y. Lin/John B. Scalzi, mengemukakan elemen dengan harga (b/t) kurang dari 10, maka $F_{cr} = F_y$. Hubungan antara kuat tekan dan (b/t) tersebut ditunjukkan pada kurva A, pada Gambar (3.3.b).

Pada elemen dengan (b/t) lebih besar dari 10 kurang dari 25 tekuk lokal dapat terjadi pada tegangan di bawah tegangan tekuk teoritis. Tegangan kritis untuk elemen tersebut mendekati F_y dan F_{cr} pada (b/t) sama dengan 25, ditunjukkan pada kurva B.

Pada elemen dengan (b/t) antara 25 dan 60 penyimpangan dapat terjadi pada tegangan sama dengan atau lebih besar dari tegangan tekuk teoritis F_{cr} , ditunjukkan pada kurva C.

Pada elemen dengan (b/t) lebih besar dari 60 penyimpangan tegangan kritisnya sangat rendah. Hal ini menunjukkan bahwa elemen-elemen tersebut tidak dapat digunakan untuk struktur.

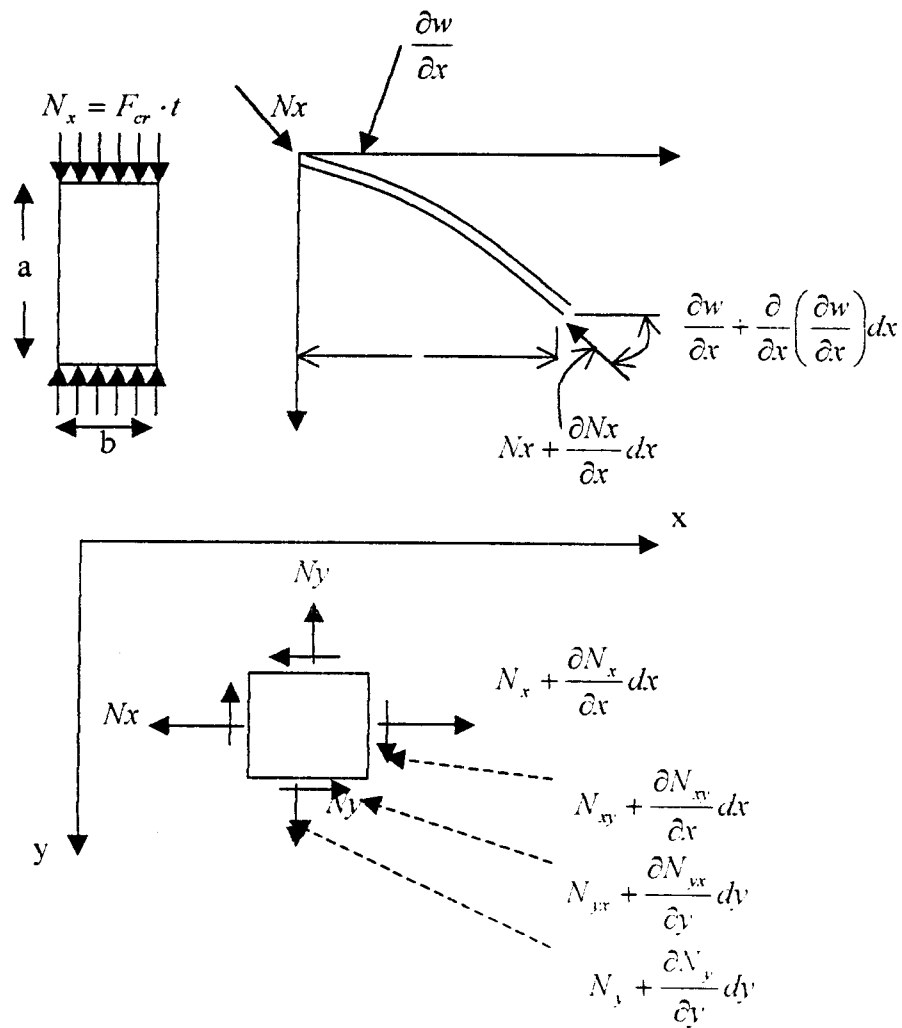
Sebagian besar profil C canai dingin memiliki perbandingan (h/t) yang cukup besar di atas 10 sehingga tegangan kritis yang terjadi jauh di bawah tegangan lelehnya.

3.2. Tekuk Pelat yang Ditekan Secara Merata

Pada penampang profil C canai tersusun dari elemen-elemen pelat. Tinjauan kemungkinan tekuk batang tidak hanya berdasarkan angka kelangsingan untuk penampang lintang secara keseluruhan saja, melainkan juga perlu meninjau kemungkinan adanya tekuk setempat (lokal), karena tekuk lokal dapat terjadi lebih dahulu pada salah satu elemen pelat pembentuk penampang. Tekuk setempat menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat memikul beban yang harus

diterimanya, jika ada beban tambahan; dengan kata lain, efisiensi penampang lintang berkurang. (Salmon dan Johnson, 1994).

Tekuk Pelat perlu ditinjau terhadap komponen gaya tekan N_x bila pelat tersebut terdefleksi ke posisi sedikit tertekuk, dengan q yang menyatakan komponen beban transversal akibat lenturan pelat.



Gambar 3.4. a. Pelat yang mendapat tekan merata

b. Elemen pelat dalam posisi lentur

c. Pelat-pelat pada sumbu x dan y

Penjumlahan gaya-gaya dalam arah z pada elemen pelat dari Gambar (3.4),
memberikan :

$$Nx \cdot dy \frac{\partial w}{\partial x} - \left(Nx + \frac{\partial Nx}{\partial x} dx \right) dy \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} dx \right) = q dx dy \quad (3.4)$$

$$- \left(Nx \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial Nx}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial Nx}{\partial x} dx \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) dy dx = q dy dx \quad (3.5)$$

yang dengan pengabaian suku kecil berordo tinggi memberikan :

$$q = -Nx \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (3.6)$$

Kemudian, persamaan diferensial untuk lentur pelat homogen :

$$D \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = q \quad (3.7)$$

Menjadi :

$$\left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = - \frac{Nx}{D} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (3.8)$$

Yang merupakan persamaan *diferensial parsial* dimana w merupakan fungsi x dan y . Defleksi w dapat dinyatakan sebagai perkalian dalam fungsi x , (X), dan fungsi y , (Y). Lagi pula tekuk dapat diasumsikan memberikan variasi sinusoidal dalam arah x , dengan demikian :

$$w = X(x) Y(y) \quad (3.9)$$

Dengan memisalkan :

$$X(x) = \sin \frac{m\pi x}{a} \quad (3.10)$$

Dimana fungsi X memenuhi syarat defleksi nol dan momen nol dari tumpuan sederhana pada $x = 0$ dan $x = a$. Substitusi Persamaan (3.9) ke dalam Persamaan (3.8), setelah eliminasi suku $\sin m\pi x/a$, akan memberikan :

$$\begin{aligned} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^4 Y - 2\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \frac{d^2 Y}{dy^2} + \frac{d^4 Y}{dy^4} &= + \frac{Nx}{D} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 Y \\ \left(\frac{d^4 Y}{dy^4}\right) - 2\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \left(\frac{d^2 Y}{dy^2}\right) + \left[\left(\frac{m\pi}{a}\right)^4 - \frac{Nx}{D} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2\right] Y &= 0 \end{aligned} \quad (3.11)$$

Sebuah persamaan differensial homogen biasa berpangkat empat.

Penyelesaiannya dapat dinyatakan dalam bentuk :

$$Y = C_1 \sinh \alpha y + C_2 \cosh \alpha y + C_3 \sin \beta y + C_4 \cos \beta y \quad (3.12)$$

Dimana :

$$\alpha = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \sqrt{\frac{Nx}{D} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2}} \quad \text{dan} \quad \beta = \sqrt{-\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \sqrt{\frac{Nx}{D} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2}}$$

Dengan demikian, persamaan defleksi pelat keseluruhan adalah :

$$w = \left(\sin \frac{m\pi x}{a}\right) (C_1 \sinh \alpha y + C_2 \cosh \alpha y + C_3 \sin \beta y + C_4 \cos \beta y) \quad (3.13)$$

Yang memenuhi syarat batas. Dengan mengasumsikan sumbu x sebagai sumbu simetri pelat, yaitu kondisi tumpuan sepanjang kedua tepi yang sejajar arah pembebanan, koefisien fungsi yang ganjil C_1 dan C_3 harus sama dengan nol.

Dengan demikian :

$$w = \left(\sin \frac{m\pi x}{a}\right) (C_2 \cosh \alpha y + C_4 \cos \beta y) \sin (m\pi x/a) \quad (3.14)$$

Dengan kondisi tumpuan sederhana di $y = b/2$ dan $y = -b/2$, syarat di $y = \pm b/2$ adalah :

$$w = 0 = \left(\sin \frac{m\pi x}{a} \right) \left(C_2 \cosh \alpha \frac{b}{2} + C_4 \cos \beta \frac{b}{2} \right)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0 = \left(\sin \frac{m\pi x}{a} \right) \left(C_2 \alpha^2 \cosh \alpha \frac{b}{2} + C_4 \beta^2 \cos \beta \frac{b}{2} \right) \quad (3.15)$$

Untuk penyelesaian selain $C_2 = C_4 = 0$, determinan koefisien-koefisien lain harus sama dengan nol. Dengan demikian, maka :

$$(\alpha^2 + \beta^2) \cosh \alpha \frac{b}{2} \cos \beta \frac{b}{2} = 0 \quad (3.16)$$

Karena $\alpha^2 \neq -\beta^2$ kecuali bila $Nx = 0$ (penyelesaian *trivial*), dan karena $\cosh \alpha (b/2) > 1$ satu-satunya cara agar Persamaan (3.16) dapat dipenuhi dalam persoalan nyata adalah untuk :

$$\cos \beta \frac{b}{2} = 0$$

Maka dari itu :

$$\beta \frac{b}{2} = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2} \text{ dan seterusnya.}$$

Dengan menggunakan harga terendah dari $\beta (b/2)$ dan mensubsitusikan ke dalam β seperti yang didefinisikan di bawah ini, Persamaan (3.12) memberikan :

$$\frac{b}{2} \sqrt{-\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \sqrt{\frac{Nx}{D} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2}} = \frac{\pi}{2}$$

$$\frac{Nx}{D} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 = \left[\frac{\pi^2}{b^2} + \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \right]^2$$

$$Nx = D \left[\frac{\pi^2 E}{b^2 m \pi} + \frac{m\pi}{a} \right]^2$$

$$Nx = \frac{D\pi^2}{b^2} \left[\frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2 \quad (3.17)$$

Karena $Nx = F_{cr}t$ dan $D = Et^3 [12(1-\mu^2)]$, tegangan tekuk elastis dapat dinyatakan sebagai :

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \quad (3.18)$$

Dengan kasus khusus yang dibahas di sini :

$$k = \left[\frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2 \quad (3.19)$$

Koefisien tekuk k merupakan fungsi dari jenis tegangan (dalam kasus ini tekanan merata pada dua tepi yang berlawanan) dan kondisi tumpuan tepi (dalam kasus ini, tumpuan sederhana pada keempat tepi), di samping resiko aspek a/b yang muncul secara langsung dalam persamaan tersebut.

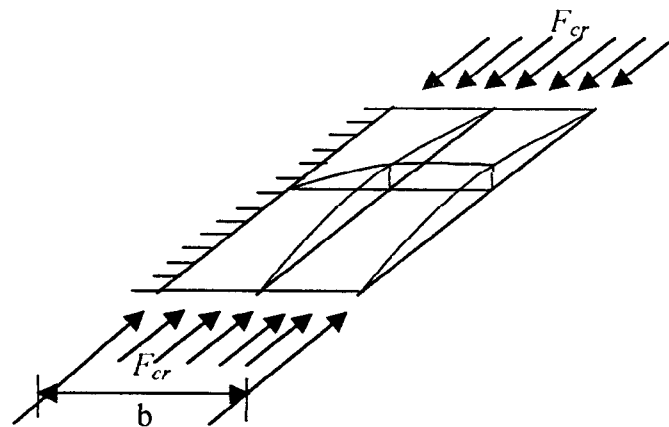
Persamaan untuk tekuk pelat pada Persamaan (3.18), sepenuhnya bersifat umum dalam bentuk k dan penurunannya untuk kasus yang dibahas disini dapat dianggap sebagai ilustrasi prosedur bagi kasus lainnya. Bilangan bulat m menunjukkan banyaknya separuh gelombang yang terjadi dalam arah x pada saat tekuk. Gambar (3.7) menunjukkan bahwa ada harga k minimum untuk jumlah separuh gelombang tertentu, yakni kondisi terlemah. Perhatikan bahwa situasi terlemah ini terjadi pada saat panjang pelat merupakan kelipatan bulat dari lebarnya, dan bahwa kelipatan ini sama dengan banyaknya separuh gelombang.

Jadi, dengan $a/b = m$ akan diperoleh $k = 4$. Selanjutnya, bila m bertambah besar, persamaan k menjadi makin datar dan mendekati harga konstan 4 untuk rasio a/b yang besar (*Salmon dan Johnson, 1994*).

3.2.1. Tekuk Lokal

Bila sebuah pelat dipengaruhi secara langsung oleh desakan, lenturan, atau tegangan geser atau oleh gabungan tegangan-tegangan tersebut, maka pelat akan mengalami tekukan secara setempat sebelum seluruh elemen mengalami kegagalan. Tegangan yang berkompresi secara merata akan mencapai tegangan tekuk, dimana bila tegangan tekuk dicapai maka pelat akan melentur dengan membentuk gelombang yang dipengaruhi oleh syarat-syarat tepi (syarat-syarat batas) dan perbandingan panjang dan lebar (a/b) dengan pendistribusian kembali yang dihasilkan oleh tegangan desak dan penambahan beban, sampai keseluruhan pelat tersebut tertekuk. (*Joseph E. Bowles, 1985*).

3.2.1.1. Tekuk Lokal pada Sayap



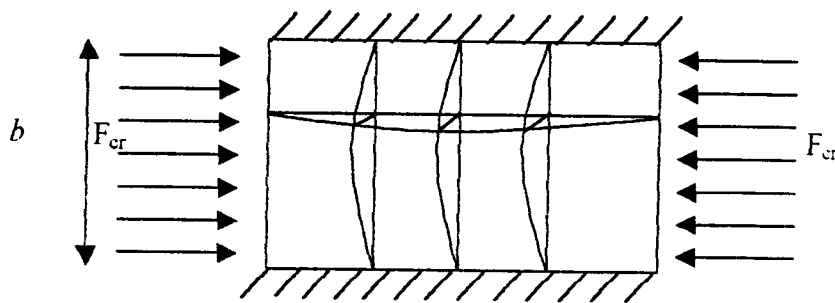
Gambar 3.5. Tekuk pada Sayap (jepit-bebas)

Stabilitas pada sayap dengan kondisi tumpuan tepi jepit-bebas seperti pada Gambar (3.5) sebelum mengalami tekuk diwakili oleh Persamaan (3.20) berikut ini :

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \quad (3.20)$$

Dengan : b adalah lebar sayap, E adalah modulus elastis = 2×10^5 Mpa, angka poisson μ diambil 0,3 (untuk baja dan rasio lebar dengan ketebalan (b/t)), nilai k untuk kondisi yang ditunjukkan pada Gambar (3.5) dan perbandingan L/b , seperti pada Gambar (3.7) diperoleh $k = 0.425$. Dari Persamaan (3.4) untuk $F_y = F_{cr} = 240$ Mpa, diperoleh $b/t = 17,882$.

3.2.1.2. Tekuk Lokal pada Badan



Gambar 3.6. Tekuk horizontal pada Badan (jepit-jepit)

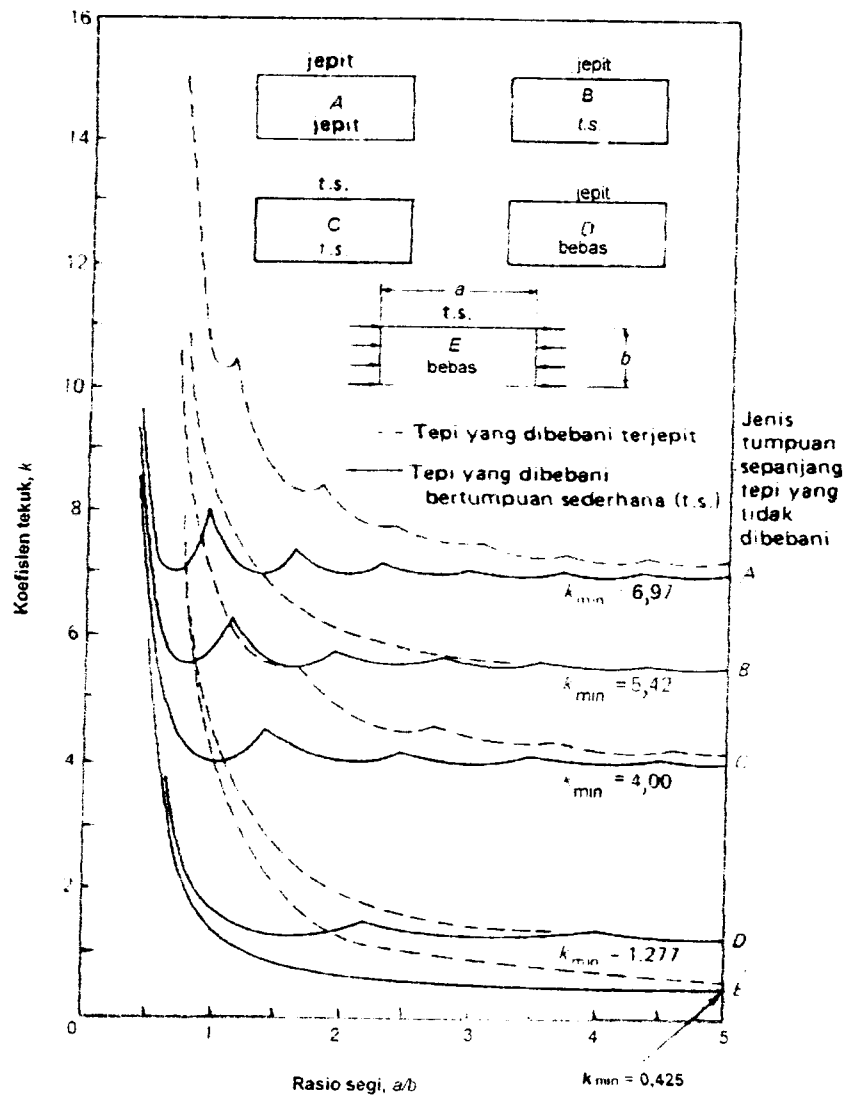
Stabilitas pada badan dengan kondisi tumpuan tepi jepit-jepit sebelum mengalami tekuk seperti pada Gambar (3.6) diwakili oleh Persamaan (3.21) berikut ini:

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) (h/t)^2} \quad (3.21)$$

dengan nilai k untuk kondisi yang ditunjukkan pada Gambar (3.6) dan perbandingan rasio lebar terhadap tebal (b/t), seperti pada Gambar (3.7) diperoleh $k = 4$. Dari persamaan (3.20) untuk $F_y = F_{cr} = 240$ Mpa, diperoleh $h/t = 54,86$.

Dari persamaan tersebut dapat diambil kesimpulan, bahwa semakin besar b/t (pada sayap) atau h/t (pada badan) maka tegangan F_{cr} semakin rendah karena itu untuk meningkatkan nilai tegangan kritis dilakukan dengan cara memberi

pengaku pada tepi-tepi pelat, sehingga akan menaik nilai k , misalnya dari kondisi jepit-bebas dengan k mendekati 0.425 diubah menjadi kondisi jepit-jepit dengan nilai k antara 0,425 dan 4.

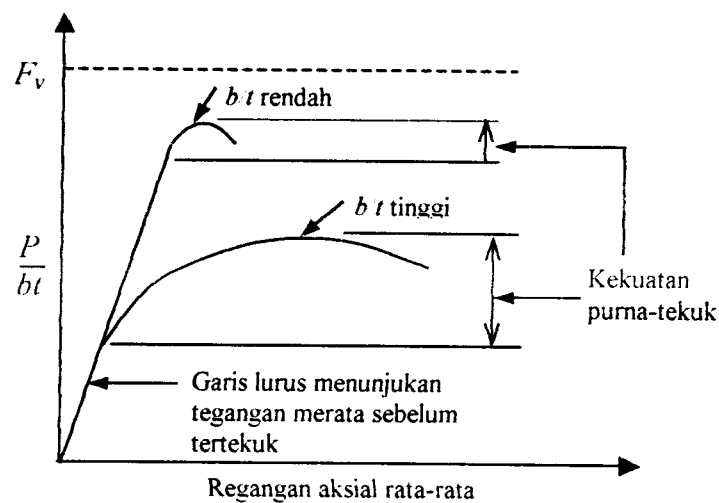


Gambar 3.7. Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar.

(diambil dari Gerrard dan Becker, 1957)

Nilai k dipengaruhi oleh perbandingan dari (L/b) dan kondisi dari tepi-tepi pelat dimana semakin besar nilai (L/b) maka nilai k akan semakin kecil, dengan demikian F_{cr} akan semakin kecil nilai k mendekati 0,425, untuk perbandingan $(L/b) \geq 5$ dan kondisi tepi-tepi pelat adalah tumpuan sederhana-bebas.

Charles G. Salmon dan John E. Johnson menyatakan bahwa pelat yang mempunyai (b/t) relatif besar (badan tidak kompak) kemungkinan mengalami tekuk setempat (*local buckling*) yang sangat besar akibat beban aksial, kemungkinan terjadi pelat akan akan leleh pada sekitar 40% dari kekuatan nominal yang disebut sebagai leleh *premature* seperti terlihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Kelakuan pelat yang mengalami tekan tepi

3.2.2. Tekuk Primer

Batang tekan (*compression member*) adalah elemen struktur yang mendukung gaya tekan aksial. Walaupun di dalam struktur sesungguhnya jarang dijumpai batang yang benar-benar hanya mendukung gaya tekan aksial. Umumnya pada batang tekan bekerja juga gaya-gaya lain, misalnya momen

lentur, gaya lintang dan torsi. Dalam berbagai kasus sering dijumpai kombinasi tekan lentur dengan momen kecil sehingga dapat dipandang sebagai batang tekan saja.

Pada tampang batang tekan akan terjadi tegangan normal akibat gaya aksial, dan tegangan lentur akibat momen. Batang akan mengalami kegagalan akibat tekuk (*buckling*) jika kombinasi kedua tegangan ini mencapai tegangan leleh bahan. Batang yang gemuk akan mengalami kegagalan akibat tekuk dengan tegangan normal cukup besar, sedang tegangan lenturnya masih kecil. Sebaliknya, batang langsing akan mengalami kegagalan akibat tekuk dengan tegangan normal kecil, disertai tegangan lentur besar. (*Padosbajayo, 1994*).

Charles G. Salmon dan John E. Johnson, mengemukakan bahwa pada persamaan tekuk Euler jika pada sisi kiri dan kanan dibagi dengan A , dengan $A = L r^2$ sehingga Persamaan (3.22) tersebut dapat ditulis sebagai berikut ini :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(Lk/r)^2} \quad (3.22)$$

dengan r = jari-jari inersia dan (L/r) = kelangsingan. Dari persamaan tekuk tersebut dapat diketahui bahwa semakin langsing suatu batang kemungkinan terjadinya tekuk akan semakin tinggi dan kuat tekannya semakin kecil.

3.3. Batang tarik

Batang tarik adalah batang yang mengalami tegangan tarik aksial akibat beban kerja pada ujung-ujung batang. Desain komponen tarik merupakan persoalan yang paling sederhana dibandingkan perencanaan struktur yang lain.

Meskipun stabilitas bukan merupakan kriteria utama dalam desain batang tarik, namun batang tarik perlu dibatasi panjangnya untuk menjaga agar tidak terlalu fleksibel. Batang tarik yang terlalu panjang akan mempunyai lendutan besar yang disebabkan oleh berat batang tarik itu sendiri. Terlebih lagi batang akan bergetar bila menahan gaya-gaya angin atau alat-alat yang bergetar, seperti *fans* atau *compressors*. Ada kriteria kekakuan, berdasarkan kelangsingan (*slenderness ratio*) L/r dari batang, dimana L = panjang batang dan r = jari-jari inersia. Kelangsingan batang tarik menurut AISC ditunjuk pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Persyaratan Batang Tarik

| Kelangsingan (L/r) | AISC | PPBBI |
|------------------------|------|-------|
| Untuk batang Utama | 240 | 240 |
| Untuk batang skunder | 300 | 300 |

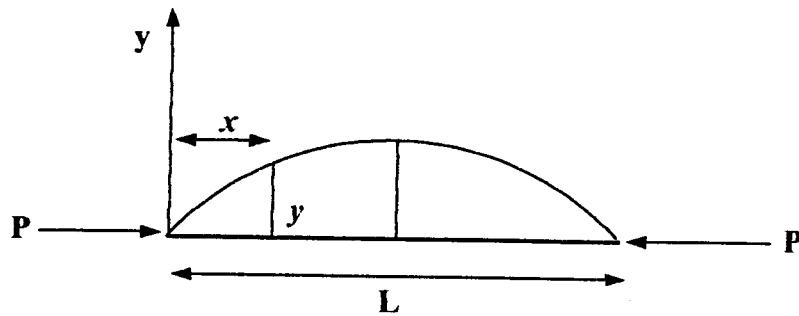
3.4. Batang Tekan

Secara garis besar ada 2 macam batang yang mengalami gaya tekan dalam suatu konstruksi, yaitu:

- a. Batang tekan yang merupakan batang dari suatu rangka batang. Batang ini mengalami gaya tekan aksial searah panjang batangnya. Umumnya dalam suatu rangka, batang tepi atas merupakan batang tekan, dan
- b. Kolom, merupakan batang tekan tegak yang bekerja untuk menahan balok-balok loteng, rangka atap, lintasan *crane* dalam pabrik, dan sebagainya (Oentoeng, 1999).

Menurut Persamaan Euler kekuatan batang tekan dinyatakan dengan rumus $P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada uraian berikut :

Akibat beban (P) dan pelenturan (y), pada penampang tersebut bekerja momen lentur, seperti pada Gambar 3.9.berikut ini :



Gambar 3.9. Batang lurus dibebani gaya aksial desak

Dari Gambar 3.11 dapat diketahui :

$$M = -P \cdot y \quad (3.23.a)$$

Karena $M = EI \frac{d^2 \cdot y}{dx^2}$, maka Persamaan (3.23.a) menjadi :

$$EI \frac{d^2 \cdot y}{dx^2} = -P \cdot y \quad (3.23.b)$$

Dengan, E = Modulus elastisitas, P = gaya aksial, I = inersia dan y = pelenturan.

Penyelesaian Persamaan (3.23.b) menghasilkan beban kritis (P_{cr}) berikut :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \quad (3.24)$$

Dari Persamaan (3.24.), jika masing-masing ruas dibagi dengan luas penampang (A), maka akan diperoleh tegangan kritis (F_{cr}).

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{A \cdot L^2} \quad (3.25.a)$$

Karena $\frac{A}{I} = \frac{1}{j^2}$, maka Persamaan (3.25.a) menjadi :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(L/i)^2} \quad (3.25.b)$$

bila L pada Persamaan (3.25.b) diganti dengan panjang tekuk (Lk) diperoleh :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(Lk/i)^2} \quad (3.26)$$

dengan (Lk/i) adalah kelangsingan (λ), dimana harga k dicari dari Gambar 3.10.

| | | | | | | |
|---|--|------|-----|-----|------|-----|
| Bentuk kolom yang tertekuk ditunjukkan oleh garis terputus | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) | (f) |
| | | | | | | |
| Harga K teoretis | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 2,0 |
| Harga perencanaan yang disarankan bila kondisi ideal hanya merupakan pendekatan | 0,65 | 0,80 | 1,0 | 1,2 | 2,10 | 2,0 |
| Tanda kondisi ujung | Rotasi tak mungkin, Translasi tak mungkin Rotasi bebas, Translasi tak mungkin Rotasi tak mungkin, Translasi bebas Rotasi bebas, Translasi bebas | | | | | |

3.10. Gambar faktor panjang efektif (k) untuk kolom yang dibebani secara terpusat dengan berbagai kondisi ideal.

3.5. Alat Sambung Las

Proses pengelasan merupakan proses penyambungan dua batang atau lebih dengan pemanasan samapai keadaan plastis, dengan atau tanpa tekanan. Panas yang digunakan untuk mencairkan logam dasar dan bahan pengisi agar terjadi aliran bahan (atau terjadi peleburan) serta untuk menaikkan daktilitas sehingga aliran plastis dapat terjadi.

Proses pengelasan yang digunakan pada penelitian ini adalah proses pengelasan busur nyala logam terlindung atau SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Dimana pada proses ini merupakan proses yang paling sering digunakan untuk pengelasan baja struktural maupun non-struktural. Proses SMAW sering disebut proses elektroda tongkat manual. Pemanasan dilakukan dengan busur listrik menyala antara elektroda yang dilapis dengan bahan yang akan disambung. Logam elektroda (kawat las) akan habis karena dipindahkan ke beban dasar selama proses pengelasan, sedangkan lapisannya sebagian dikonversi menjadi gas pelindung, sebagian menjadi terak (*slag*) dan sebagian lagi diserap oleh logam las. Bahan pelapis elektroda adalah campuran seperti lempung yang terdiri dari pengikat silikat dan bahan bubuk, seperti flour, karbonat, oksida, paduan logam dan selulosa. Campuran ini ditekan dan dipanasi hingga diperoleh lapisan konsentris kering yang keras. Lapisan elektroda ini mempunyai fungsi :

- a. Menghasilkan gas pelindung untuk mencegah masuknya udara dan membuat busur stabil.
- b. Memberikan bahan lain, seperti unsur pengurai oksida, untuk memperhalus struktur butiran pada logam las.

- c. Menghasilkan lapisan terak di atas kolam yang cair dan memadatkan las untuk melindungi dari oksigen dan nitrogen dalam udar, serta memperlambat pendinginan.

Bahan elektroda ditentukan dan dispesifikasikan oleh *American Welding Society*. Identifikasi seperti E70XX menunjukkan kekuatan tarik 70 *ksi*. Huruf XX menyatakan faktor-faktor seperti posisi pengelasan, sumber listrik yang disarankan, jenis lapisan, dan jenis karakteristik busur nyala (*Salmon dan Johnson, 1994*).

Salah satu las yang mendominasi aplikasi struktural adalah las sudut. Las sudut adalah las yang teoritis mempunyai penampang melintang segitiga, yang menggabungkan dua permukaan yang membentuk sudut. Dan kekuatan las tergantung pada arah beban yang bekerja, yang dapat sejajar atau tegak lurus terhadap sumbu las (*Spiegel dan Limbrunner, 1991*).

AISC menyatakan kriteria kekuatan las E70XX dalam desain untuk las sudut seperti pada tabel 3.2. berikut ini :

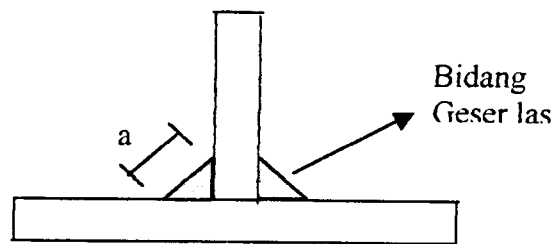
Tabel 3.2. Kekuatan las (kips per inci panjang)

| Ukuran las (in) | E70XX SMAW | E70SAW |
|-----------------|------------|--------|
| 1/16 | 0,925 | 1,31 |
| 1/8 | 1,85 | 2,63 |
| 3/16 | 2,78 | 3,94 |
| 1/4 | 3,70 | 5,25 |
| 5/16 | 4,63 | 6,56 |
| 3/8 | 5,55 | 7,88 |
| 7/16 | 6,48 | 8,81 |
| 1/2 | 7,40 | 9,73 |

Lanjutan Tabel 3.2. Kekuatan las (kips per inci panjang)

| Ukuran las (in) | E70XXSMAW | E70SAW |
|-----------------|-----------|--------|
| 9/16 | 8,33 | 10,66 |
| 5/8 | 9,25 | 11,59 |
| 11/16 | 10,18 | 12,52 |
| 3/4 | 11,10 | 13,45 |
| 13/16 | 12,03 | 14,37 |
| 7/8 | 12,95 | 15,30 |

Perhitungan kekuatan las seperti berikut ini :



Gambar 3.11 Las Sudut

Luas penampang las,

$$A = Ln \cdot a \quad (3.27)$$

a = tebal rigi-rigi las

Ln = panjang bersih las = $Lbr - 3 \cdot a$

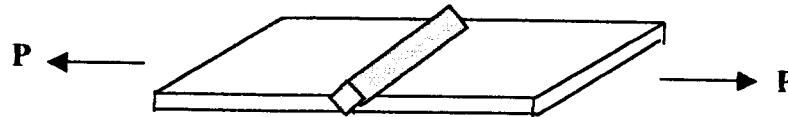
PPBBI menggunakan rumus *Huber Hencky* untuk menghitung kekuatan las, seperti berikut ini :

$$P = \frac{F_{ijm} \cdot A}{\sqrt{(\sin^2 \alpha + 3 \cdot \cos^2 \alpha)}} \quad (3.28)$$

Dengan, F_{ijm} = tegangan dasar ijin dari elektroda las, A = luas penampang las, dan α = sudut yang dibentuk oleh arah gaya dengan bidang geser las.

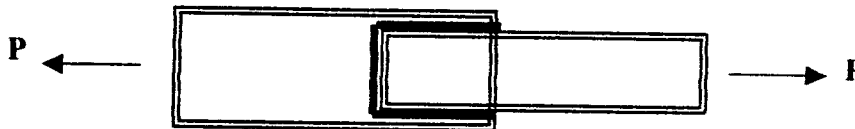
Penggunaan rumus di atas pada keadaan khusus :

1. $P_{ijin} = F_{ijin} \cdot A$; untuk $\alpha = 90^\circ$.



Gambar 3.12. Las sudut dengan sudut $\alpha = 90^\circ$.

2. $P_{ijin} = 0,58 \cdot F_{ijin} \cdot A$; untuk $\alpha = 0^\circ$.



Gambar 3.13. Las sudut dengan untuk $\alpha = 0^\circ$.

syarat tebal las : $a \leq \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot t$

syarat panjang las : $10 \cdot a \leq Ln \leq 40 \cdot a$

3.6. Tegangan Residu

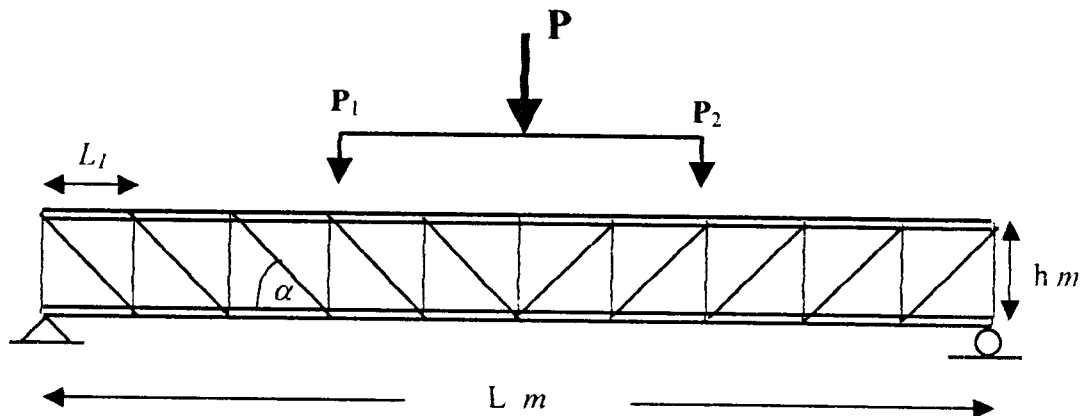
Tegangan residu atau tegangan sisa (*residual stress*) adalah tegangan yang tetap tinggal di dalam batang setelah batang baja selesai dibentuk produk akhir. Tegangan residu ada, karena di dalam batang baja terdapat deformasi plastis atau deformasi permanen. Deformasi plastis terjadi kerana beberapa sebab antara lain :

1. Pendinginan yang tidak merata setelah proses *hot-rolling*.
2. *Cold-bending* selama pabrikan.
3. Pengelasan. (*Salmon dan Johnson, 1994*).

3.7. Hubungan Sudut Batang Diagonal dan Pengaku pada Ujung Batang Vertikal dengan Batang Desak Horizontal Sisi Atas

Salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap kuat desak batang adalah kelangsingan. Semakin langsing suatu batang, semakin kecil kuat desaknya. Kelangsingan adalah rasio antara panjang tekuk (Lk) dengan jari-jari kelembaman atau *gyration* (r), seperti pada persamaan berikut ini :

$$\lambda = \frac{Lk}{r_{\min}} \quad (3.29)$$



Gambar 3.14. Panjang efektif batang desak (L_1)

Memperhatikan Gambar (3.14), maka dapat disimpulkan bahwa semakin kecil sudut (α) pada batang diagonal akan mengakibatkan batang tepi atas desak (L_1) lebih panjang (langsing) sehingga menjadikan batang-batang tersebut mudah mengalami tekuk. Sebaliknya, semakin besar sudut (α) pada batang diagonal akan menjadikan batang tepi atas desak (L_1) lebih pendek sehingga batang-batang tekuk akan dapat dikurangi. Tegangan kritis batang dengan kelangsingan semakin besar maka nilai F_{cr} akan semakin kecil dan sebaliknya jika suatu batang dengan kelangsingan semakin kecil maka nilai F_{cr} akan semakin besar.

Untuk kelangsingan suatu batang desak yang ujungnya diberi pengaku, AISC memberi batasan kelangsingan berupa keadaan kritis (C_c). Nilai C_c diwakili oleh Persamaan (3.25) berikut ini :

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{Q \cdot F_y}} \quad (3.30)$$

dengan Q = faktor bentuk batang yang mengalami tekuk lokal.

Jika suatu batang desak harga $\frac{Lk}{r_{\min}} > C_c$, maka batang desak akan mengalami tekuk elastis, di mana tegangan kritisnya (F_{cr}) diwakili oleh Persamaan (3.26) berikut ini :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(Lk / r_{\min})^2} \quad (3.31)$$

Dan sebaliknya, jika harga $\frac{Lk}{r_{\min}} < C_c$, maka batang desak akan mengalami tekuk inelastis, dimana F_{cr} diwakili oleh Persamaan (3.27) berikut ini :

$$F_{cr} = Q \cdot \left[1 - \frac{(Lk/r)^2}{2C_c^2} \right] \cdot F_y \quad (3.32)$$

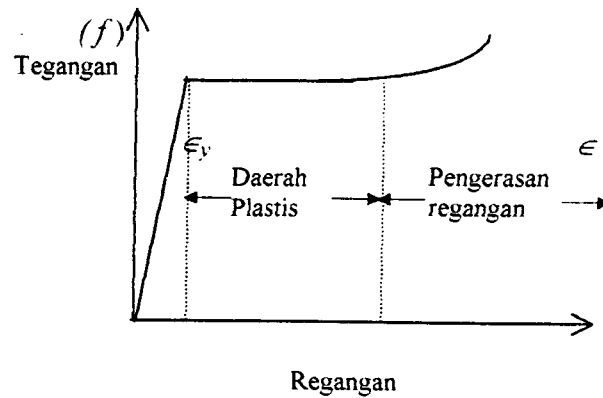
Dimana nilai :

$$Q = Q_s \cdot Q_a, \text{ dan } F_y = \text{Tegangan leleh baja, ksi.}$$

Nilai Q_s dan Q_a dapat dianggap sebagai faktor bentuk. Jika suatu batang tertekan yang terdiri dari elemen yang diperkuat dapat diperlakukan sebagai yang tidak diperkuat untuk menentukan tegangan ($F_{rata-rata}$).

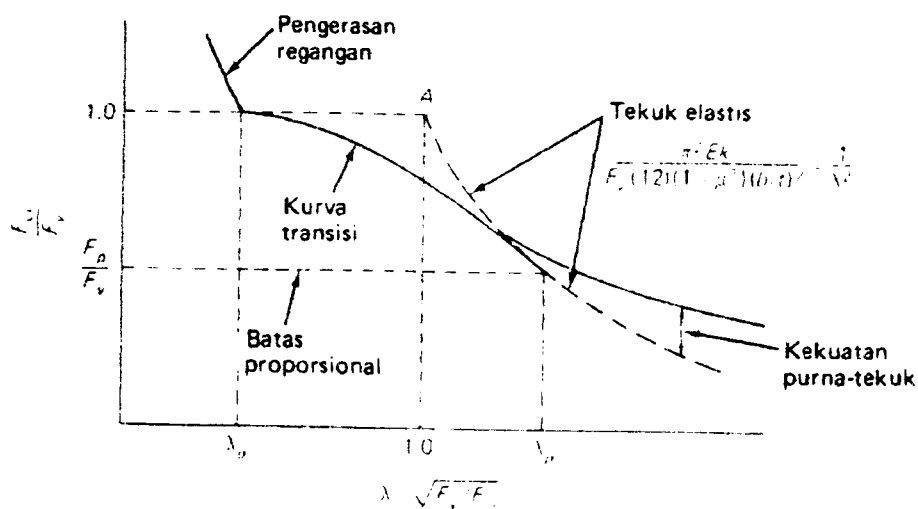
Pada perencanaan elemen pelat dengan tekan tepi harus mampu mengalami regangan yang lebih besar dari regangan leleh pertama ϵ_y . Tekuk

setempat harus tidak terjadi sebelum regangan tekan mencapai jauh ke dalam daerah plastis dan mendekati pengerasan regangan, seperti pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15. Daerah plastis dan pengerasan regangan pada hubungan tegangan-regangan untuk baja.

Untuk rasio lebar dengan ketebalan harus lebih kecil dari yang digunakan dalam metode tegangan kerja yang hanya mengharuskan pencapaian regangan, ϵ_y atau dengan kata lain λ harus lebih kecil dari λ_0 , seperti pada Gambar 3.16. berikut ini :



Gambar 3.16. Grafik tak berdimensi untuk kekuatan pelat dengan tekanan tepi .

Pada profil C canai dingin yang diasumsikan sebagai perlakuan pelat apabila diberikan beban secara merata pada ujung-ujungnya maka lendutan tekuk pelat akan dijumpai dalam dua kategori, yaitu :

- (1). Elemen pelat “yang tidak diperkuat”, yang memiliki satu tepi bebas yang sejajar pembebanan (Q_s sebagai faktor bentuk).

Untuk tegangan rencana, sifat penampang bruto dapat digunakan; jadi untuk elemen yang tidak diperkuat,

$$\frac{P_{ult}}{A_{bruto}} = \frac{f_{avg}}{f_{maks}} \cdot (f_{maks}) \cdot \frac{A_{bruto}}{A_{bruto}} = Q_s \cdot f_{maks} \quad (3.33)$$

Dengan meninjau Gambar (3.17), harga Q_s yang lebih kecil dari 1,0 sama artinya dengan $\lambda > \lambda_s$. Oleh AISC disederhanakan menggunakan bentuk garis lurus seperti kurva (A) pada Gambar 3.16. Anggapan yang digunakan yaitu $\lambda = 0,7$ adalah harga maksimum, dimana $F_{cr} = F_y$ dan batas proporsional terjadi pada $\lambda_p = \sqrt{2}$, yang sama seperti untuk tekuk keseluruhan. Akan tetapi, karena adanya kekuatan purna tekuk, kurva sejenis Euler dinaikkan ke atas kurva teoritis (kurva C) sehingga kurva perencanaan AISC (kurva B) memberikan $Q_s = F_{cr} / F_y = 0,65$ untuk $\lambda_p = \sqrt{2}$.

Walaupun dalam penurunannya Q_s didefinisikan sama dengan F_{cr} / F_y , tetapi tekuk pada batang keseluruhan terjadi (berdasarkan I_k / r) tegangan rata-rata $P/A = F_a$ selalu lebih kecil dari F_y . Hal ini berarti tekuk setempat elemen yang tidak diperkuat akan mengurangi efisiensi penampang lintang, bila F_{cr} untuk elemen pelat lebih kecil dari F_a .

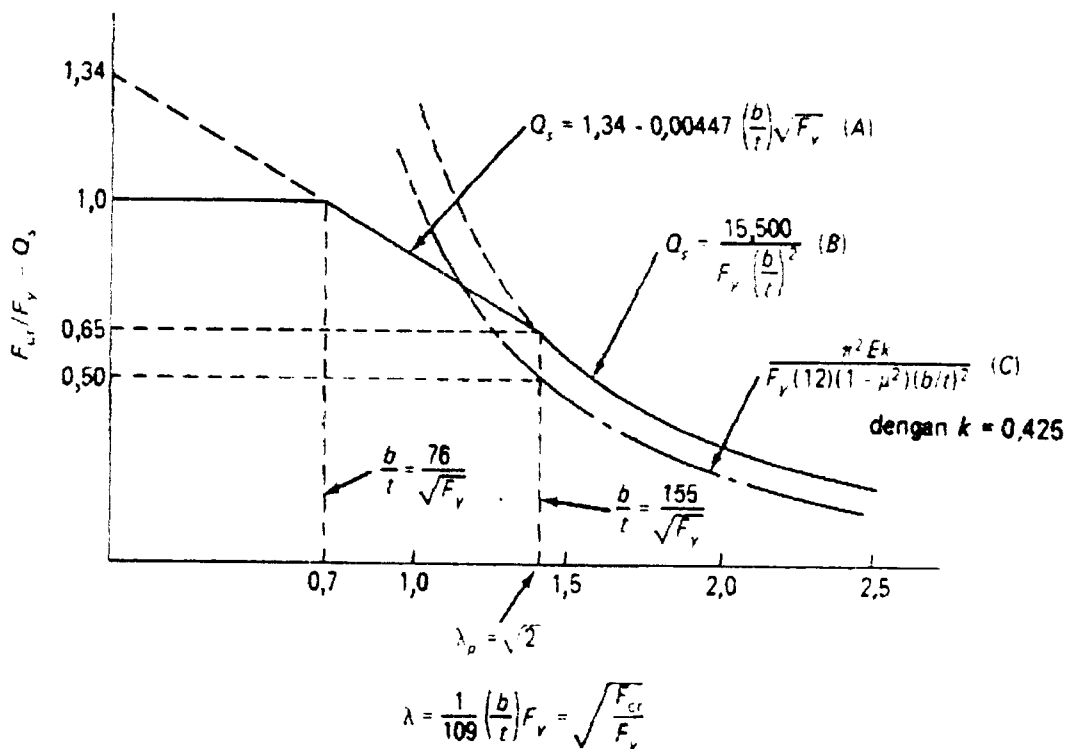
Dengan demikian secara umum untuk sayap tekan kolom :

$$Q_s = \frac{F_{cr}}{F_a} \geq \frac{F_{cr}}{F_y} \quad (3.34)$$

dan untuk sayap tekan pada balok,

$$Q_s = \frac{F_{cr}}{F_b} \geq \frac{F_{cr}}{F_y} \quad (3.35)$$

Pada lampiran C AISC memberikan persamaan reduksi tegangan untuk bagian sayap dan tangkai profil T . Persamaan reduksi ini didasarkan pada alasan yang sama seperti yang dijabarkan untuk profil siku tunggal, yang ditunjuk pada Gambar 3.17. berikut ini :



Gambar 3.17. Kekakuan pelat untuk elemen yang tidak diperkuat (siku tunggal) dengan satu tepi sendi dan tepi lainnya bebas.

(2) Elemen pelat “yang diperkuat”, yang bertumpu sepanjang dua tepi yang sejajar pembebanan (Qa sebagai faktor bentuk).

Untuk elemen pelat yang diperkuat sifat penampang bruto digunakan dalam menentukan tegangan rencana, dimana diwakili oleh Persamaan (3.36) berikut ini :

$$\frac{P_{ult}}{A_{bruto}} = \frac{A_{eff}}{A_{bruto}} \cdot f_{maks} = Qa \cdot f_{maks} \quad (3.36)$$

Pada elemen pelat yang diperkuat ini, karena penampang lintang pada profil dapat terdiri dari elemen yang tidak diperkuat yang menurut spesifikasi AISC direncanakan dengan memakai tegangan rata-rata yang direduksi dan tidak menggunakan lebar efektif, maka tegangan yang diijinkan pada elemen yang tidak diperkuat digunakan sebagai tegangan maksimum yang dapat diberikan pada elemen yang diperkuat. Jadi tegangan beban kerja adalah :

$$f = F'_{cr} \text{ berdasarkan elemen yang tidak diperkuat}$$

Selanjutnya, dengan menggunakan harga Q_s yang rasional dan lebih tinggi (Persamaan 3.34), maka :

$$Q_s = \frac{F'_{cr}}{F_a}, \text{ dengan } f = Q_s \cdot F_a \quad (3.37)$$

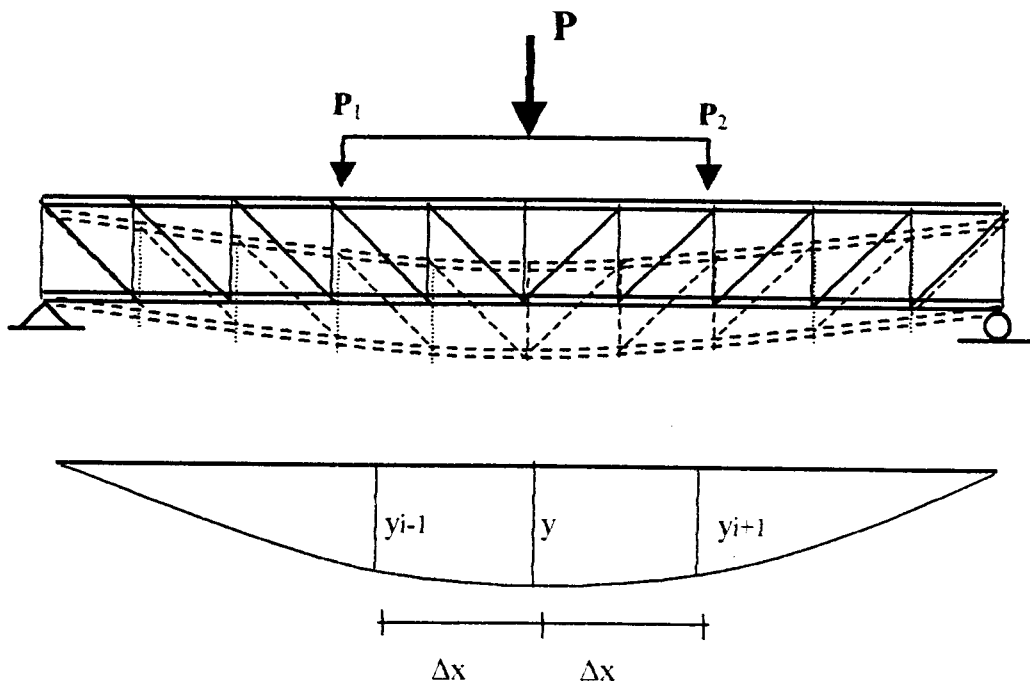
seperti yang ditetapkan oleh AISC-C3.

Akhirnya, menurut persamaan 3.36, Qa adalah :

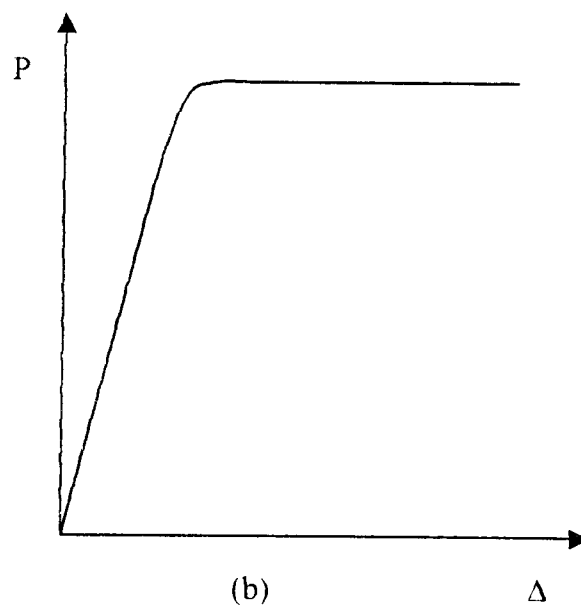
$$Qa = \frac{(\text{lebar efektif}) \cdot t}{\text{luas yang sebenarnya}} = \frac{A_{eff}}{A_{bruto}} \quad (3.38)$$

dengan $A_{eff} = A_{bruto} - \Sigma (b - b_E) \cdot t$

3.8. Hubungan Momen dengan Kelengkungan



(a)



(b)

Gambar 3.18. Hubungan antara beban (P) dan Lendutan (Δ)

Dari pengujian kuat lentur dapat defleksi pada titik-titik distrik, misalnya y_{i-1} , y_i dan y_{i+1} , kemiringan garis lengkung didekati dengan menggunakan metode *Central Difference*. Mengacu pada Gambar (3.18.a) maka pendekatan $\frac{dy}{dx}$ adalah :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.39)$$

Turunan keduanya menjadi :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx}(2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \quad (3.40)$$

Karena $(2\Delta x)$ adalah konstanta maka

$$\frac{d}{dx}(2\Delta x) = 0$$

Sehingga Persamaan (3.40) menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx}(2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \quad (3.41)$$

Selanjutnya didapatkan

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2})}{(2\Delta x)^2} \quad (3.42)$$

Jadi :

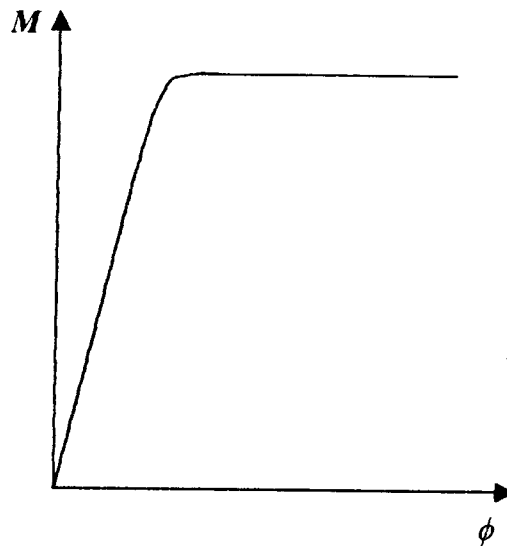
$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(y_{i+1} - y_i + y_{i-1})}{(\Delta x)^2}$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{EI}$$

$$M = EI \cdot \phi$$

$$M = EI \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.43)$$

Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan (curvatur) (ϕ) ditunjuk pada Gambar (3.19)



Gambar 3.19. Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan (ϕ)

Pada saat pembebanan telah tercapai pada P_{max} (Gambar 3.18.b) dan terjadi momen batas yang menimbulkan mekanisme keruntuhan maka penampang ini akan terus berdeformasi tanpa menghasilkan gaya tahan tambahan. Sudut regangan ϕ akan elastis seluruhnya setelah itu keadaan tidak stabil dan lendutan tidak terkendali. Karena profil C canai dingin mempunyai tegangan kritis yang jauh dibawah tegangan lelehnya ($F_{cr} < F_y$) maka $M_n < M_y$, dimana :

$$M_n = F_{cr} \times A \times L < M_y = F_y \times A \times L \quad (3.44)$$

3.9. Hipotesa

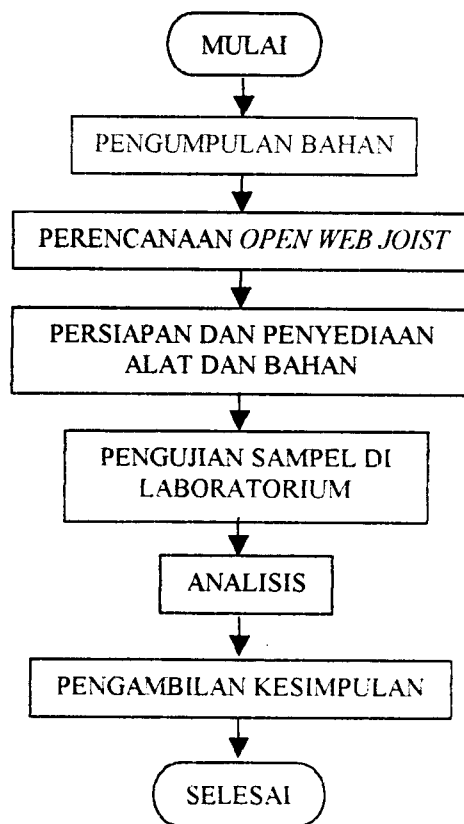
Dengan memperhatikan latar belakang, tujuan penelitian, tinjauan pustaka dan landasan teori bahwa apabila suatu struktur balok badan terbuka (*Open Web Joist*) diberi beban sentris (P) maka akan terjadi F_{cr} yang besarnya akan dipengaruhi oleh koefisien k yang berasal dari grafik hubungan (Lb) dengan kondisi tepi-tepi pelat, dan rasio kelangsingan badan (b/t), balok badan terbuka (*Open Web Joist*) memiliki badan yang tidak kompak (b/t) diatas 10 sehingga akan terjadi keruntuhan tekuk jauh di bawah tegangan lelehnya $F_{cr} < F_y$, tetapi dengan mengubah kondisi tepi-tepi pelat dari jepit-bebas menjadi jepit-jepit dan panjang efektif (Lk) diharapkan akan terjadi kenaikan tegangan leleh $F_{cr} = F_y$.

Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan curvatur (θ) ditunjukkan Gambar (3.19) untuk setiap sampel dibuat hubungan non-dimensional P/P_{max} hubungan dengan Δ/Δ_y dan M/M_{max} hubungan dengan θ/θ_y .

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Metodologi Penelitian

Metode penelitian adalah urutan pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan dalam penulisan tugas akhir. Prosedur dari penelitian seperti pada flowchart Gambar 4.1. di bawah ini :



Gambar 4.1. Flowchart metodologi penelitian

4.2. Bahan dan Peralatan

Untuk kelancaran penelitian diperlukan beberapa peralatan dan bahan yang akan digunakan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan penelitian. Adapun bahan dan alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

4.2.1. Bahan

a. Baja Profil

Baja profil yang digunakan adalah baja profil C canai dingin C100x50x20x2 sebagai batang horizontal..

b. Las

Sambungan las menggunakan Elektroda E70XX dengan kekuatan tarik maksimum, $F_u = 70 \text{ Ksi} = 485 \text{ Mpa}$.

c. *Bracing*

Bracing (badan balok) menggunakan baja tulangan polos $\emptyset 10, 12, 16 \text{ mm}$.

d. Pelat pengaku

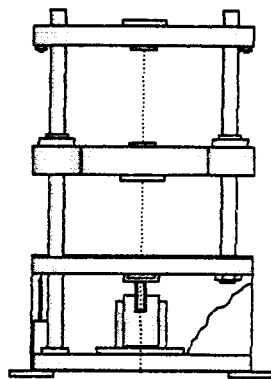
Pelat pengaku berupa pelat tipis setebal 2 mm yang ditempatkan pada ujung panjang efektif (L_k) batang desak sisi atas atau pada pertemuan batang vertical dengan batang profil C canai dingin.

4.2.2. Peralatan Penelitian

Peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Mesin Uji Kuat Tarik

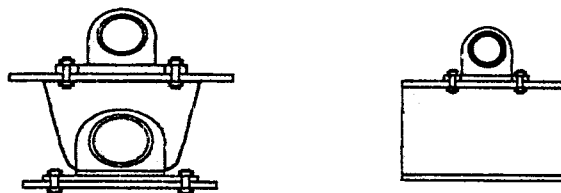
Digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Pada penelitian ini digunakan UNIVERSAL TESTING MATERIAL (UTM) merk SHIMATSU type UMH 30, kapasitas 30 ton, seperti pada Gambar 4.2 berikut :



Gambar 4.2. Universal Testing Material Shimadzu UMH30

b. Dukungan Sendi dan Rol

Untuk membuat model rangka *pratt* dapat berdiri tegak sebagai sampel uji, maka sebagai tumpuan dipasang dukungan berupa sendi dan rol, seperti pada Gambar 4.3 berikut :



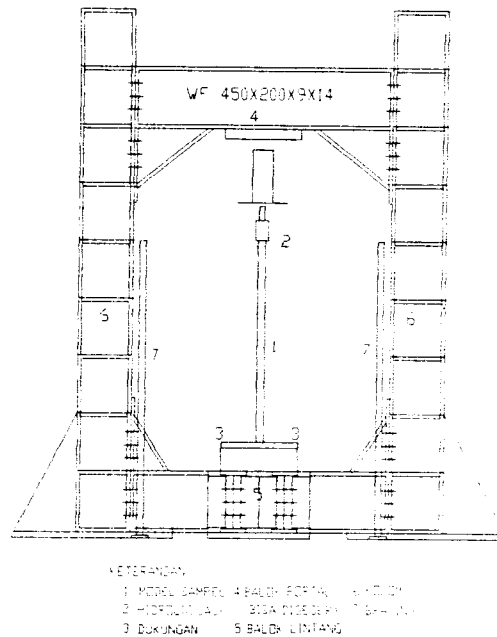
(a). Dukungan Rol

(b). Dukungan Sendi

Gambar 4.3. Dukungan Rol dan Sendi

c. Loading Frame

Untuk menempatkan benda uji, pada penelitian ini digunakan Loading frame dari bahan baja profil WF 450x200x9x14, seperti pada Gambar 4.4.



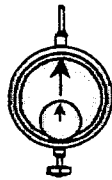
Gambar 4.4. Loading Frame

Bentuk dasar Loading Frame berupa rangkaian profil WF yang didesain sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk meletakkan sampel uji dengan baik.

d. Dial Gauge

Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian 0,01 mm, Gambar 4.5. Pada pengujian ini dipakai *dial gauge*

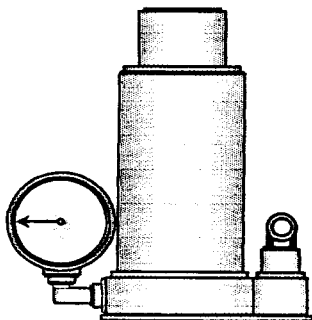
dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dan ketelitian 0,01 mm dan pada penelitian ini digunakan *dial gauge* sebanyak 3 buah.



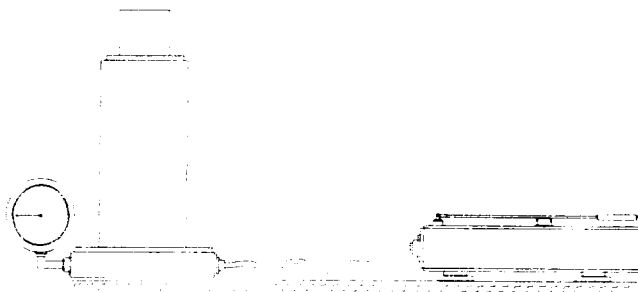
Gambar 4.5 *Dial Gauge*

e. *Hydraulic Jack*

Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian desak rangka *pratt* balok badan terbuka (*open web joist*) dengan beban P sentris yang mempunyai kapasitas maksimum 25 ton dengan ketelitian pembacaan sebesar 0,25 ton, seperti pada Gambar 4.6.a (tampak depan) dan 4.6.b (tampak samping).

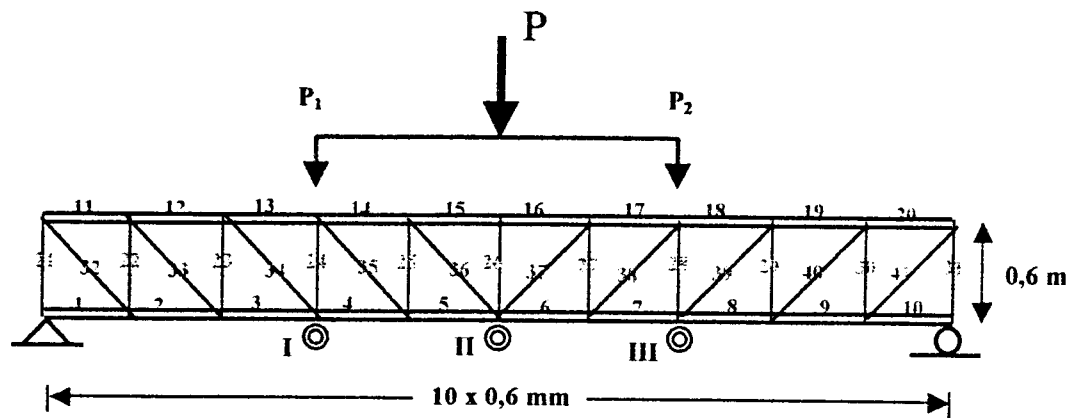


(a). Tampak Depan



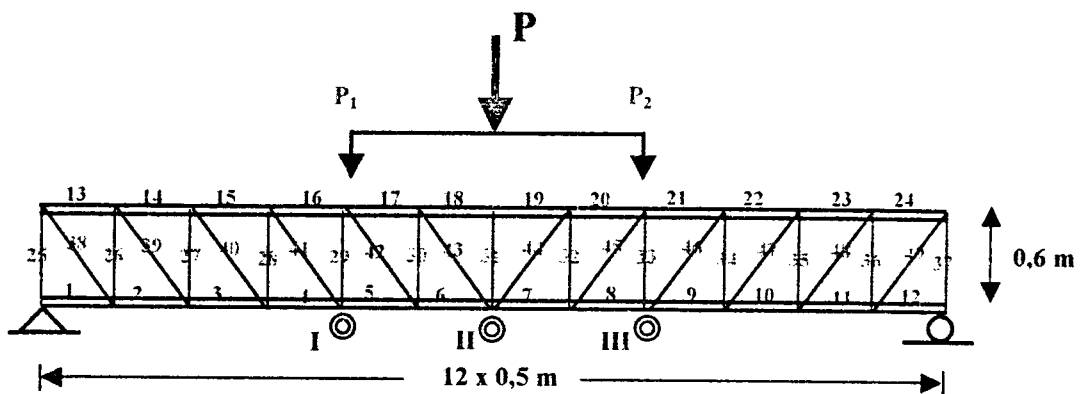
(b). Tampak Samping

Gambar 4.6. *Hydraulic jack*



Gambar 4.7.a. Model benda uji I dengan 3 buah *dial gauge*.

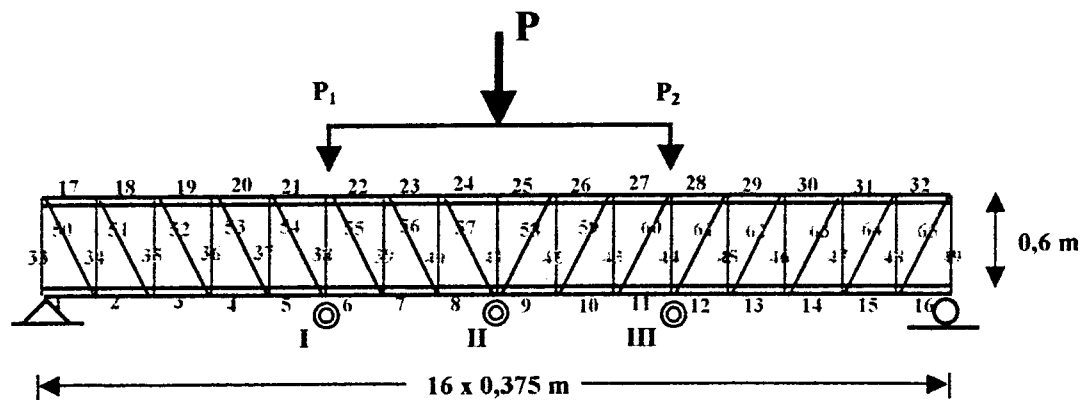
- * Batang 1 - 10 = batang tarik profil C100x50x20x2.
- * Batang 11 - 20 = batang desak profil C100x50x20x2.
- * Batang 21, 22, 23, 24, dan 28, 29, 30, 31 = batang desak BjTp \varnothing 16 mm.
- * Batang 25, 26, 27 = batang desak BjTp \varnothing 12 mm.
- * Batang 32,33,34,35,36 dan 37,38,39,40,41 = batang tarik BjTp \varnothing 10 mm.



Gambar 4.7.b. Model benda uji II dengan 3 buah *dial gauge*

- * Batang 1 - 12 = batang tarik profil C100x50x20x2.
- * Batang 13 - 24 = batang desak profil C100x50x20x2
- * Batang 25, 26, 27, 28, 29 dan 33, 34, 35, 36, 37 = batang desak BjTp \varnothing 16 mm.
- * Batang 30, 31, 32 = batang desak BjTp \varnothing 12 mm.
- * Batang 38,39,40,41,42,43 dan 44,45,46,47,48,49 = batang tarik BjTp \varnothing 10 mm





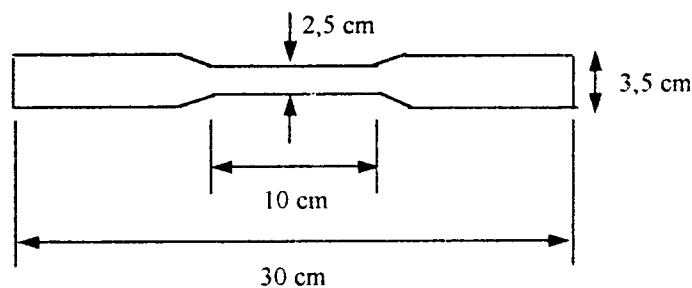
Gambar 4.7.c. Model benda uji III dengan 3 buah *dial gauge*

- * Batang 1- 16 = batang tarik profil C100x50x20x2.
- * Batang 17 - 32 = batang desak profil C100x50x20x2.
- * Batang 33,34,35,36,37,38 dan 44,45,46,47,48,49 = batang desak BjTp Ø 16 mm
- * Batang 39, 40, 41, 42, 43 = batang desak BjTp Ø 12 mm.
- * Batang 50,51,52,53,54,55,56,57 dan 58,59,60,61,62,63,64,65 = batang tarik BjTp Ø 10 mm.

Untuk mengetahui kekuatan bahan dilakukan pengujian yang meliputi uji tarik pelat dan baja tulangan Ø 10 serta kuat geser las.

► Uji tarik pelat

Benda uji dibuat dari sayap profil C canai dengan panjang 30 cm dengan ketebalan 0,2 cm seperti pada Gambar 4.8.



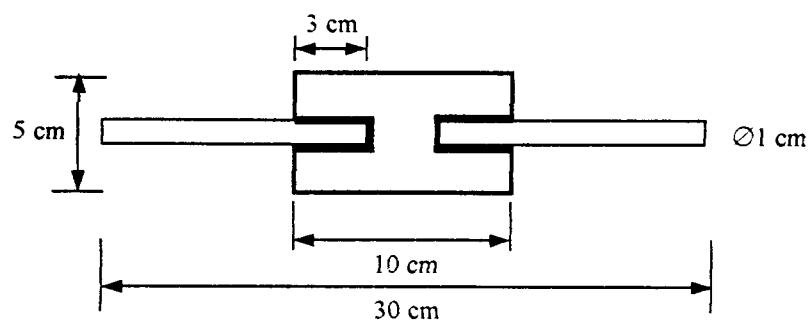
Gambar 4.8. Benda uji tarik profil C canai

- › Uji tarik baja tulangan

Benda uji berupa baja tulangan polos (BjTp) \varnothing 10 dengan panjang 30 cm

- › Uji Kuat geser las

Benda uji kuat geser las dari baja tulangan polos (BjTp) \varnothing 10 dan pelat dengan ketebalan 1 cm yang disambung dengan las elektroda E70XX, seperti pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Benda uji kuat geser las

4.4. Prosedur penelitian

Prosedur dari penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, terdiri dari :

1. Tahap perumusan masalah.

Tahap ini meliputi perumusan terhadap topik penelitian, perumusan tujuan, serta pembatasan masalah.

2. Tahap perumusan teori.

Pada tahap ini dilakukan pengkajian pustaka terhadap teori yang melandasi penelitian serta ketentuan-ketentuan yang dijadikan acuan dalam pelaksanaan penelitian ini.

3. Tahap pelaksanaan penelitian, terdiri dari :

- a. Pengumpulan bahan

- Menentukan ukuran profil balok badan terbuka dan *bracing*.
- Pencarian bahan.

b. Pengujian pendahuluan

Pengujian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui kekuatan profil yang digunakan. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tarik profil C, kuat tarik tulangan \varnothing 10 mm dan pengujian kekuatan geser las.

c. Pembuatan benda uji

Balok badan terbuka yang merupakan rangkaian profil C canai dingin dengan panjang bentang 6 m disusun atas-bawah saling berhadapan dan dirangkaikan terhadap batang pengisi yang berdiameter 10, 12, 16 mm yang disambungkan dengan menggunakan las. Pada penelitian ini digunakan 3 buah model benda uji dengan tiga jenis variasi sudut batang pengisi, yaitu masing-masing model dengan sudut 45° , 50° dan 60° .

d. Persiapan peralatan

Sebelum pengujian dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan persiapan alat yang akan digunakan, yaitu sebagai berikut :

Dukungan sendi dan rol (Gambar 4.3) diletakkan pada *loading frame* (Gambar (4.4) pada posisi 1,5 meter dari pusat *loading frame* yang dipergunakan untuk tumpuan benda uji dengan panjang 6 meter. Kemudian ditempatkan penyangga pada sisi kiri dan kanan benda uji untuk menahan benda uji agar tidak tergelincir ke samping kiri atau kanan dan tetap dalam posisi stabil.

Selanjutnya *hidarulic jack* (Gambar 4.6) diletakkan di atas balok sepanjang 2 meter yang berfungsi sebagai pembagi beban agar diperoleh dua

pusat beban yang membebani benda uji dan tiga buah *dial gauge* (Gambar 4.5) dipasangkan di bawah benda uji seperti Gambar 4.7.

e. Pengujian benda uji *dial gauge*.

Pengujian dengan menggunakan *dial gauge* dilakukan untuk mendapatkan lendutan yang terjadi. Proses pelaksanaan pengujian ini adalah *hidraulic jack* ditekan/dipompa untuk mendapatkan beban bertahap, yaitu kelipatan dari 3,0 *kN*. Pada saat setiap kelipatan beban 3,0 *kN*, pemompaan *hidraulic jack* dihentikan untuk dilanjutkan pembacaan dan pencatatan *dial gauge*. Proses ini dilakukan hingga benda uji mengalami kerusakan teknik.

f. Tahap analisis dan pembahasan

Analisis dilakukan dengan mencatat hasil uji laboratorium berupa lendutan yang terjadi dan melakukan pengolahan data yang ada dengan menggunakan aplikasi SAP 90.

g. Tahap penarikan kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan yang digunakan untuk memberikan jawaban terhadap permasalahan.

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Uji Pendahuluan Kuat Tarik Baja dan Geser Las

Pelaksanaan pengujian kuat tarik baja dan kuat geser las dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari hasil pengujian bahan ini dapat diketahui kapasitas beban maksimum yang dapat ditahan Dan setelah dihitung (Lampiran 5) didapat hasil pada Tabel 5.1. sebagai berikut :

Tabel 5.1. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja dan Kuat Geser Las

| No | Jenis Pengujian | F_y (Mpa) |
|----|--|-------------|
| 1. | Kuat tarik Pelat | 218,512 |
| 2. | Kuat tarik baja tulangan \varnothing 10 mm | 608,931 |
| 3. | Kuat Geser Las | 113,893 |

5.2. Hasil Pengujian Kuat Lentur Baja *Open Web Joist*.

Pelaksanaan pengujian kuat lentur baja *Open Web Joist* dilakukan di Laboratorium Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pada pengujian ini yang ditinjau adalah perilaku lentur murni dan mencegah terjadinya puntir lateral dengan memberikan penyangga tiap 1 meter pada sisi kanan dan kiri benda uji.

Pada pengujian ini, *Open Web Joist* diberikan beban sentris yang diletakkan pada perletakan tertentu dengan dua titik yang panjangnya untuk masing-masing benda uji 1,80 m, 2,00 m dan 1,875 m. Secara bertahap *Open Web Joist* diberi beban dengan kenaikan sebesar 300 kg (3,0 kN), kemudian pada setiap tahap pembebanan besarnya lendutan yang terjadi dicatat.

5.2.1. Hubungan Beban Lendutan Hasil Pengujian

Dari pembebanan dan lendutan yang terjadi hasilnya disajikan pada Tabel 5.2, Tabel 5.3, dan Tabel 5,4.

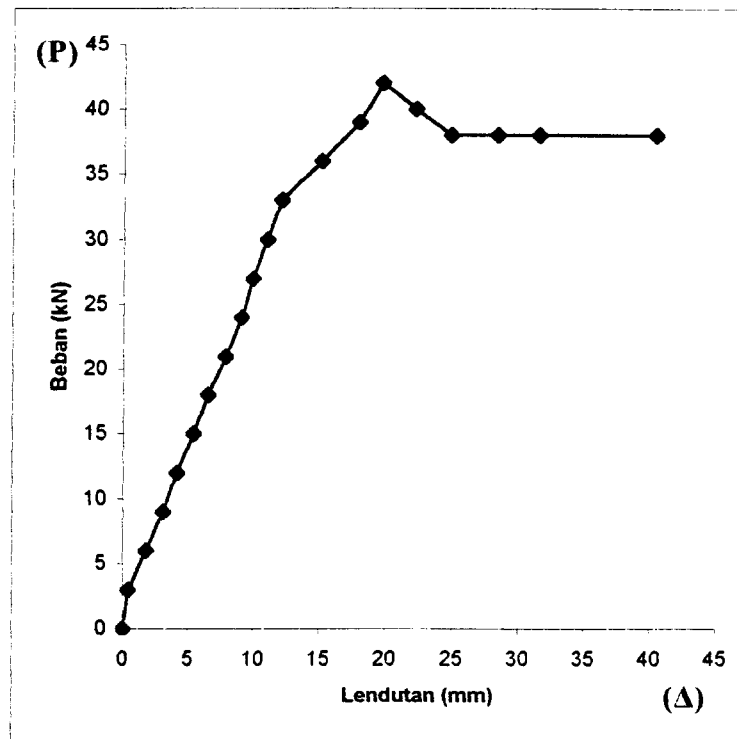
a. Benda Uji I (*Open Web Joist* profil C canai dingin dengan sudut batang pengisi 45°)

Dari hasil pengujian perilaku benda uji (*Open Web Joist* yang menggunakan profil C canai dingin dengan sudut batang pengisi 45°) didapat data pada Tabel 5.2 sebagai berikut :

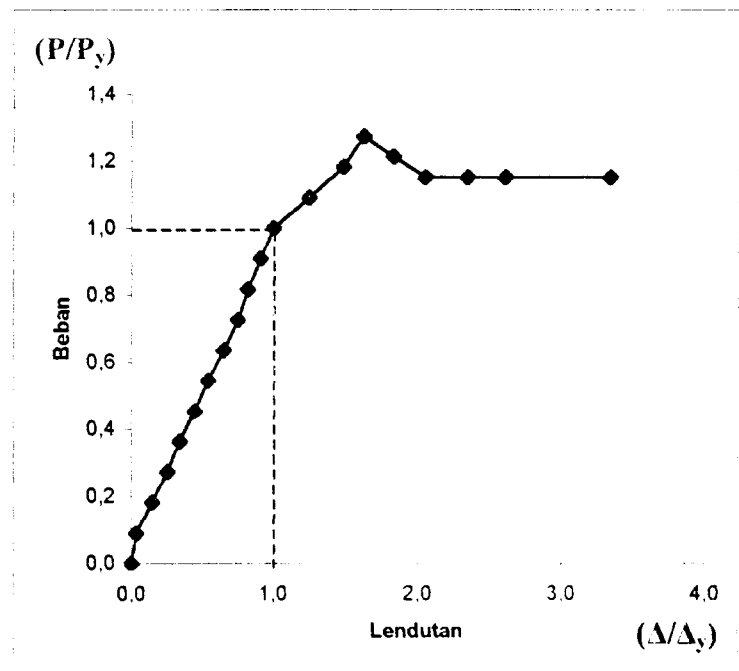
Tabel 5.2. Hubungan Beban dan Lendutan Hasil Pengujian Benda Uji I

| No | Beban (kN) | Lendutan | | | Lendutan Rata-rata (mm) |
|----|------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------|
| | | Dial 1 (mm) | Dial 2 (mm) | Dial 3 (mm) | |
| 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 3,00 | 0,34 | 0,49 | 0,41 | 0,41 |
| 2 | 6,00 | 1,60 | 1,97 | 1,67 | 1,75 |
| 3 | 9,00 | 2,87 | 3,38 | 2,89 | 3,05 |
| 4 | 12,00 | 3,87 | 4,57 | 3,89 | 4,11 |
| 5 | 15,00 | 5,03 | 5,97 | 5,04 | 5,35 |
| 6 | 18,00 | 6,12 | 7,16 | 6,08 | 6,45 |
| 7 | 21,00 | 7,42 | 8,68 | 7,33 | 7,81 |
| 8 | 24,00 | 8,52 | 10,04 | 8,49 | 9,02 |
| 9 | 27,00 | 9,17 | 11,07 | 9,36 | 9,87 |
| 10 | 30,00 | 10,31 | 12,38 | 10,24 | 10,98 |
| 11 | 33,00 | 11,27 | 13,64 | 11,32 | 12,08 |
| 12 | 36,00 | 14,07 | 16,97 | 14,13 | 15,06 |
| 13 | 39,00 | 16,94 | 19,80 | 17,00 | 17,91 |
| 14 | 42,00 | 18,14 | 22,12 | 18,67 | 19,64 |
| 15 | 40,00 | 19,92 | 24,86 | 21,62 | 22,13 |
| 16 | 38,00 | 21,45 | 27,68 | 25,22 | 24,78 |
| 17 | 38,00 | 24,31 | 31,47 | 29,15 | 28,31 |
| 18 | 38,00 | 27,11 | 34,78 | 32,44 | 31,44 |
| 19 | 38,00 | 32,00 | 45,00 | 44,00 | 40,33 |

Dari data pada tabel hubungan beban dan lendutan di atas didapatkan grafik-grafik hubungan beban-lendutan pada Gambar (5.1.) dan Gambar (5.2.)



Gambar 5.1. Grafik beban lendutan benda uji I



Gambar 5.2. Grafik dimensional hubungan beban lendutan benda uji I

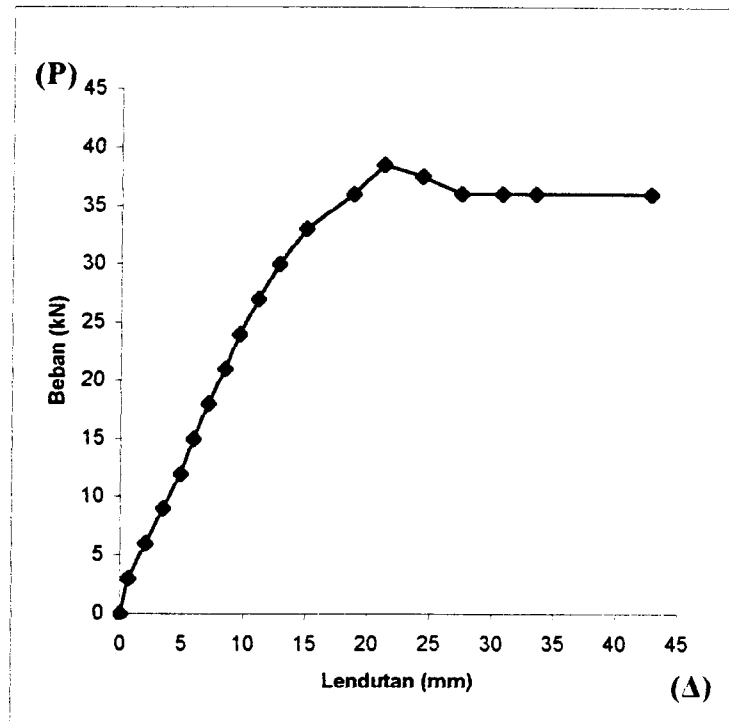
b. Benda Uji II (*Open Web Joist* profil C canai dingin dengan sudut batang pengisi 50°)

Dari hasil pengujian perilaku benda uji (*Open Web Joist* yang menggunakan profil C canai dingin dengan sudut batang pengisi 50°) didapat data pada Tabel 5.3 berikut :

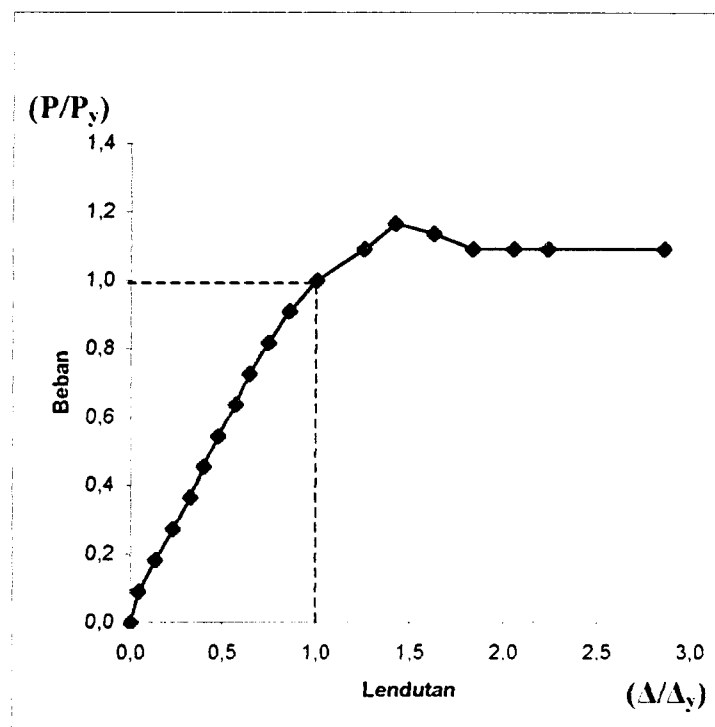
Tabel 5.3. Hubungan Beban dan Lendutan Hasil Pengujian Benda Uji II

| No | Beban (kN) | Lendutan | | | Lendutan Rata-rata (mm) |
|----|------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------|
| | | Dial 1 (mm) | Dial 2 (mm) | Dial 3 (mm) | |
| 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 3,00 | 0,69 | 0,72 | 0,57 | 0,66 |
| 2 | 6,00 | 2,02 | 2,18 | 1,85 | 2,02 |
| 3 | 9,00 | 3,33 | 3,64 | 3,37 | 3,45 |
| 4 | 12,00 | 4,63 | 5,14 | 4,88 | 4,88 |
| 5 | 15,00 | 5,71 | 6,34 | 5,74 | 5,93 |
| 6 | 18,00 | 6,94 | 7,58 | 6,78 | 7,10 |
| 7 | 21,00 | 8,25 | 9,15 | 8,01 | 8,47 |
| 8 | 24,00 | 9,35 | 10,41 | 9,04 | 9,60 |
| 9 | 27,00 | 10,87 | 12,14 | 10,41 | 11,14 |
| 10 | 30,00 | 12,48 | 13,96 | 11,95 | 12,80 |
| 11 | 33,00 | 14,68 | 16,33 | 13,86 | 14,96 |
| 12 | 36,00 | 18,68 | 20,15 | 17,44 | 18,76 |
| 13 | 38,50 | 21,88 | 22,86 | 18,86 | 21,20 |
| 14 | 37,50 | 24,57 | 26,04 | 22,14 | 24,25 |
| 15 | 36,00 | 28,54 | 29,36 | 24,10 | 27,33 |
| 16 | 36,00 | 33,45 | 32,84 | 25,66 | 30,65 |
| 17 | 36,00 | 37,56 | 35,71 | 26,76 | 33,34 |
| 18 | 36,00 | 49,00 | 46,00 | 33,00 | 42,67 |

Dari data pada tabel hubungan beban dan lendutan diatas didapatkan grafik-grafik hubungan beban-lendutan pada Gambar (5.3.) dan Gambar (5.4.)



Gambar 5.3. Grafik beban lendutan benda uji II



Gambar 5.4. Grafik dimensional hubungan beban-lendutan benda uji II

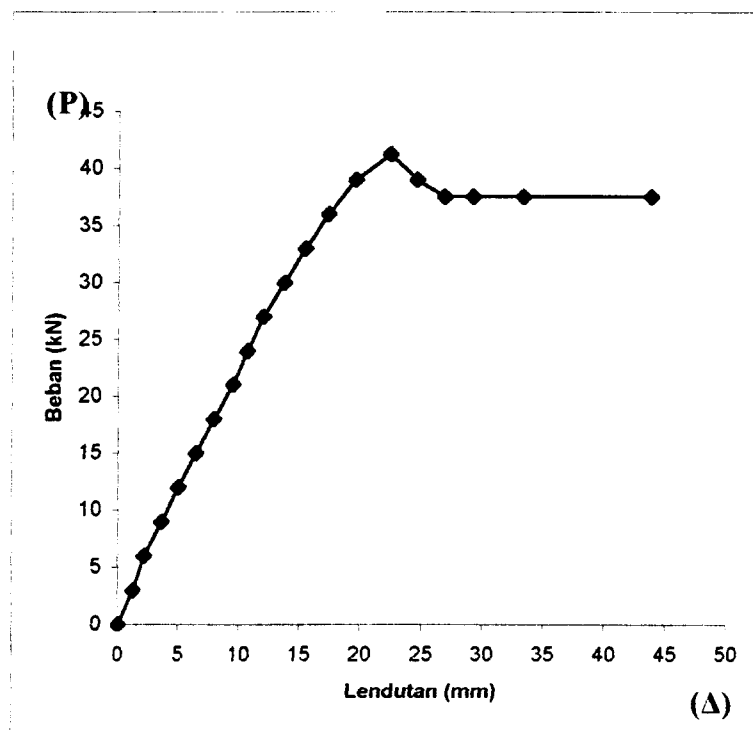
c. Benda Uji III (*Open Web Joist* profil C canai dingin dengan sudut batang pengisi 60°)

Dari hasil pengujian perilaku benda uji (*Open Web Joist* yang menggunakan profil C canai dingin dengan sudut batang pengisi 60°) didapat data pada Tabel 5.4 sebagai berikut :

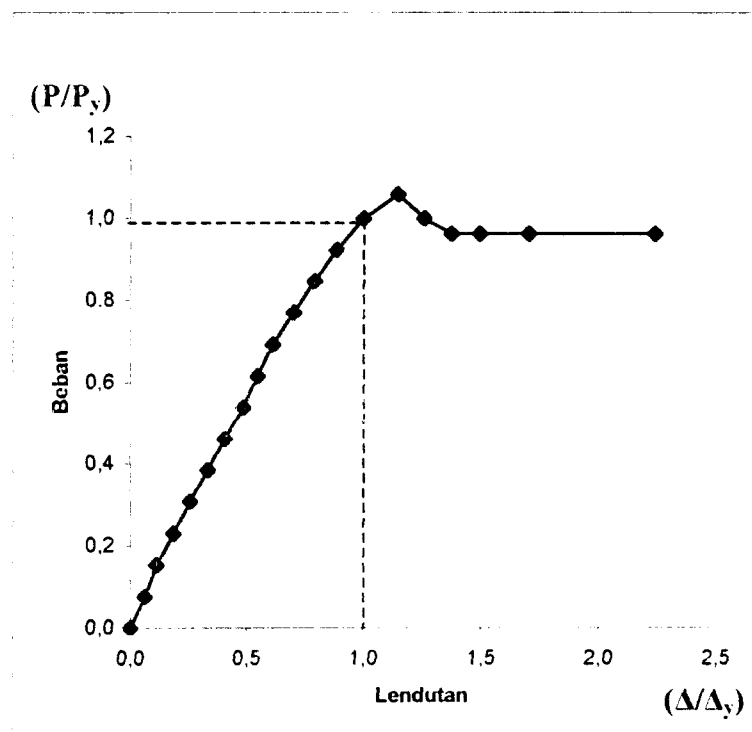
Tabel 5.4. Hubungan Beban dan Lendutan Hasil Pengujian Benda Uji III

| No | Beban (kN) | Lendutan | | | Lendutan Rata-rata (mm) |
|----|------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------|
| | | Dial 1 (mm) | Dial 2 (mm) | Dial 3 (mm) | |
| 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 3,00 | 1,15 | 1,37 | 1,24 | 1,25 |
| 2 | 6,00 | 2,08 | 2,38 | 2,17 | 2,21 |
| 3 | 9,00 | 3,48 | 3,95 | 3,54 | 3,66 |
| 4 | 12,00 | 4,78 | 5,44 | 4,79 | 5,00 |
| 5 | 15,00 | 6,22 | 7,05 | 6,12 | 6,46 |
| 6 | 18,00 | 7,70 | 8,59 | 7,45 | 7,91 |
| 7 | 21,00 | 9,20 | 10,30 | 8,90 | 9,47 |
| 8 | 24,00 | 10,30 | 11,58 | 10,10 | 10,66 |
| 9 | 27,00 | 11,60 | 13,05 | 11,25 | 11,97 |
| 10 | 30,00 | 13,17 | 14,88 | 12,98 | 13,68 |
| 11 | 33,00 | 14,72 | 16,72 | 14,75 | 15,40 |
| 12 | 36,00 | 16,62 | 18,68 | 16,55 | 17,28 |
| 13 | 39,00 | 19,65 | 21,22 | 17,70 | 19,52 |
| 14 | 41,25 | 24,15 | 24,22 | 18,66 | 22,34 |
| 15 | 39,00 | 27,28 | 26,62 | 19,65 | 24,52 |
| 16 | 37,50 | 30,41 | 29,65 | 20,14 | 26,73 |
| 17 | 37,50 | 33,47 | 32,24 | 21,48 | 29,06 |
| 18 | 37,50 | 38,36 | 36,83 | 24,35 | 33,18 |
| 19 | 37,50 | 50,00 | 48,00 | 33,00 | 43,67 |

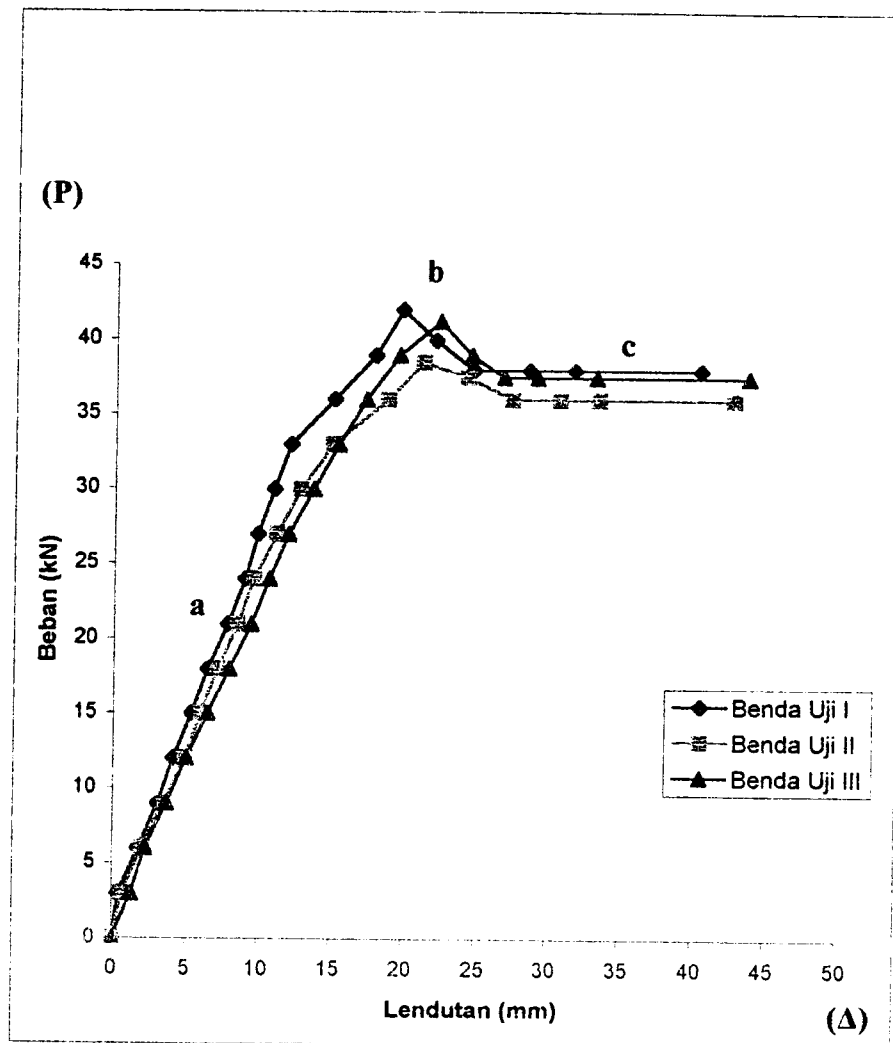
Dari data pada Tabel 5.4. hubungan beban dan lendutan di atas didapatkan grafik-grafik hubungan beban-lendutan pada Gambar (5.5.) dan Gambar (5.6.)



Gambar 5.5. Grafik Beban-Lendutan Benda Uji III



Gambar 5.6. Grafik dimensional hubungan beban-lendutan benda uji III



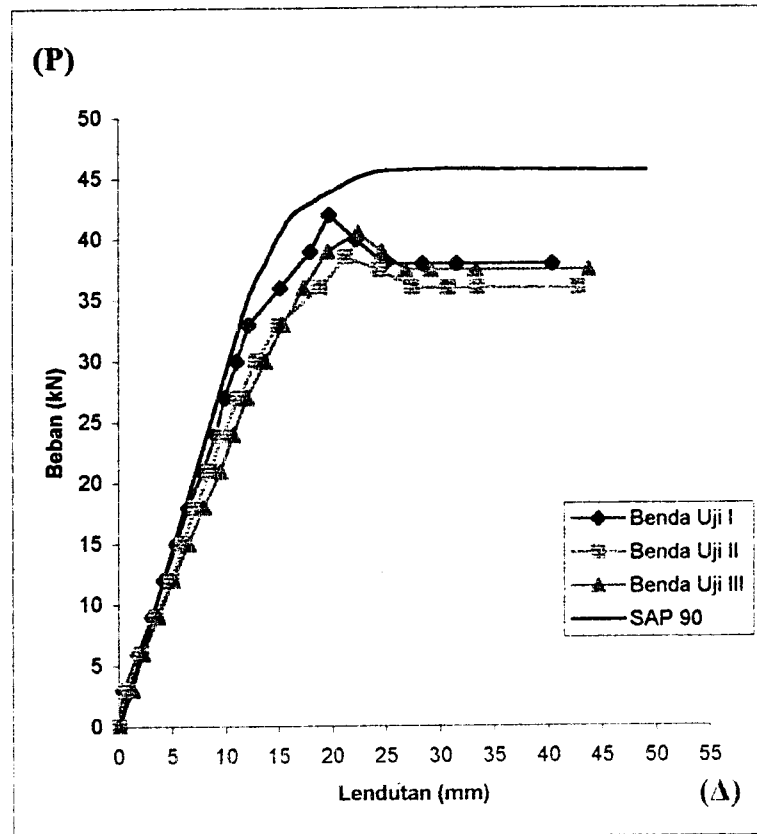
Gambar 5.7. Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan benda uji I, II dan III

Dari Grafik beban-lendutan hasil pengujian dapat diketahui bahwa dengan pembebanan bertahap struktur balok badan terbuka mengalami 3 fase perilaku, yaitu :

1. Fase elastis, ditunjukkan dengan kurva a,
2. Fase elastis-plastis, ditunjukkan dengan kurva b,
3. Fase plastis, ditunjukkan dengan kurva c.

Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh *Stuart Moy dan W.F. Chen, dkk.*

d. **Grafik Hubungan Beban-Lendutan (P- Δ) Hasil Pengujian dengan Hasil Perhitungan Numeris SAP 90.**



Gambar 5.8. Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan dengan hasil perhitungan Numeris SAP 90 Benda Uji I, II dan III

Dari Gambar 5.8. di atas dapat diketahui bahwa beban yang terjadi pada *Open Web Joist* hasil dari analisis numeris SAP 90 (penyesuaian daerah plastis dari perilaku baja teoritis) menunjukkan bahwa kapasitas balok lebih besar dibandingkan hasil uji laboratorium. Di samping itu, perilaku *Open Web Joist* hasil pengujian menunjukkan perilaku bertahap dari kondisi plastis, elastis-plastis dan plastis.

5.2.2. Hubungan Momen Kelengkungan Hasil Pengujian

Dari hasil data penelitian diperoleh grafik hubungan beban dan lendutan ($P-\Delta$) sehingga dapat dicari momen (M) dan kelengkungan (ϕ). Hubungan grafik $M-\phi$ dapat untuk mencari nilai faktor kekakuan.

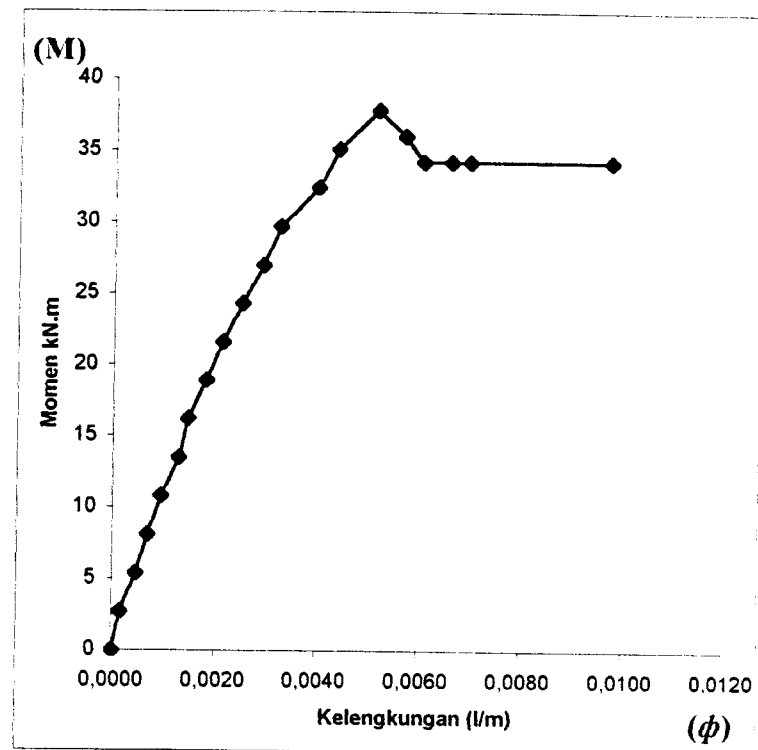
a. Benda Uji I dengan sudut batang pengisi 45°

Dari hasil pengujian perilaku benda uji I didapat data momen-kelengkungan pada Tabel 5.5 berikut ini :

Tabel 5.5. Hubungan Momen-Kelengkungan benda uji I

| No | Beban (kN) | Lendutan | | | Momen (kN.m) | Kelengkungan (m) $\phi=(d_1-2d_2+d_3)/\Delta x^2$ |
|----|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--|
| | | Dial 1 (mm) | Dial 2 (mm) | Dial 3 (mm) | | |
| 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0,0000 |
| 1 | 3,00 | 0,34 | 0,49 | 0,41 | 2,7 | 0,0002 |
| 2 | 6,00 | 1,60 | 1,97 | 1,67 | 5,4 | 0,0005 |
| 3 | 9,00 | 2,87 | 3,38 | 2,89 | 8,1 | 0,0007 |
| 4 | 12,00 | 3,87 | 4,57 | 3,89 | 10,8 | 0,0010 |
| 5 | 15,00 | 5,03 | 5,97 | 5,04 | 13,5 | 0,0013 |
| 6 | 18,00 | 6,12 | 7,16 | 6,08 | 16,2 | 0,0015 |
| 7 | 21,00 | 7,42 | 8,68 | 7,33 | 18,9 | 0,0018 |
| 8 | 24,00 | 8,52 | 10,04 | 8,49 | 21,6 | 0,0021 |
| 9 | 27,00 | 9,17 | 11,07 | 9,36 | 24,3 | 0,0025 |
| 10 | 30,00 | 10,31 | 12,38 | 10,24 | 27 | 0,0029 |
| 11 | 33,00 | 11,27 | 13,64 | 11,32 | 29,7 | 0,0033 |
| 12 | 36,00 | 14,07 | 16,97 | 14,13 | 32,4 | 0,0040 |
| 13 | 39,00 | 16,71 | 19,93 | 16,84 | 35,1 | 0,0044 |
| 14 | 42,00 | 18,14 | 22,12 | 18,67 | 37,8 | 0,0052 |
| 15 | 40,00 | 19,92 | 24,86 | 21,62 | 36 | 0,0057 |
| 16 | 38,00 | 21,45 | 27,68 | 25,22 | 34,2 | 0,0060 |
| 17 | 38,00 | 24,31 | 31,47 | 29,15 | 34,2 | 0,0066 |
| 18 | 38,00 | 27,11 | 34,78 | 32,44 | 34,2 | 0,0070 |
| 19 | 38,00 | 32,00 | 45,00 | 44,00 | 34,2 | 0,0097 |

Dari data pada tabel hubungan momen dan kelengkungan di atas didapatkan grafik hubungan momen-kelengkungan pada Gambar (5.9.).



Gambar 5.9. Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji I

b. Benda Uji II dengan sudut batang pengisi 50°

Dari hasil pengujian perilaku benda uji II didapat data momen-kelengkungan pada Tabel 5.6 berikut ini :

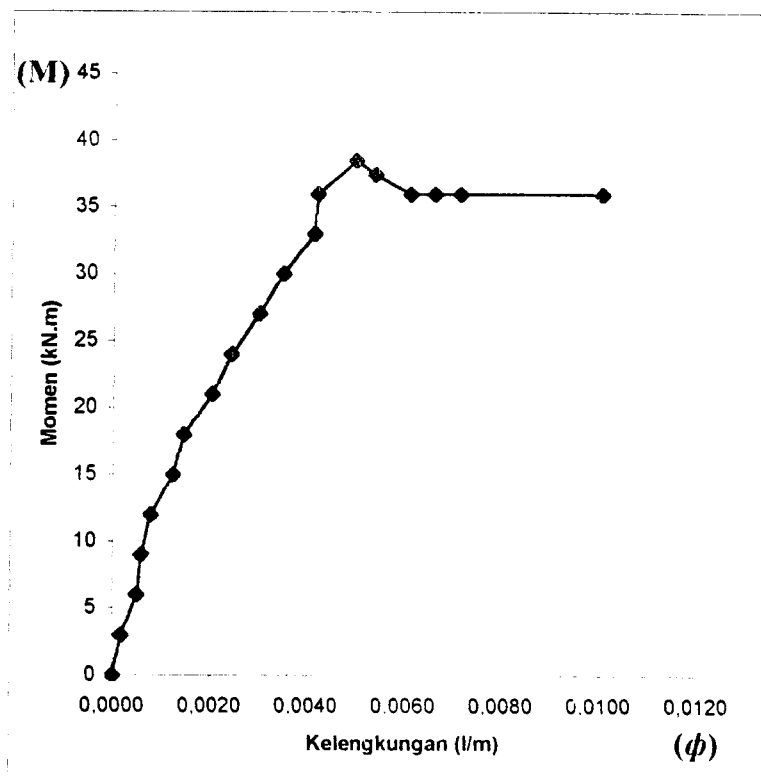
Tabel 5.6. Hubungan Momen-Kelengkungan benda uji II

| No | Beban (kN) | Lendutan | | | Momen (kN.m) | Kelengkungan (m) $\phi=(d_1-2d_2+d_3)/\Delta x^2$ |
|----|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--|
| | | Dial 1 (mm) | Dial 2 (mm) | Dial 3 (mm) | | |
| 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0,0000 |
| 1 | 3,00 | 0,69 | 0,72 | 0,57 | 3 | 0,0002 |
| 2 | 6,00 | 2,02 | 2,18 | 1,85 | 6 | 0,0005 |
| 3 | 9,00 | 3,33 | 3,64 | 3,37 | 9 | 0,0006 |
| 4 | 12,00 | 4,63 | 5,14 | 4,88 | 12 | 0,0008 |
| 5 | 15,00 | 5,71 | 6,34 | 5,74 | 15 | 0,0012 |
| 6 | 18,00 | 6,94 | 7,58 | 6,78 | 18 | 0,0014 |
| 7 | 21,00 | 8,25 | 9,15 | 8,01 | 21 | 0,0020 |
| 8 | 24,00 | 9,35 | 10,41 | 9,04 | 24 | 0,0024 |

Lanjutan Tabel 5.6. Hubungan Momen-Kelengkungan benda uji II

| No | Beban (kN) | Lendutan | | | Momen (kN.m) | Kelengkungan (m) $\phi=(d_1-2d_2+d_3)/\Delta x^2$ |
|----|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--|
| | | Dial 1 (mm) | Dial 2 (mm) | Dial 3 (mm) | | |
| 9 | 27,00 | 10,87 | 12,14 | 10,41 | 27 | 0,0030 |
| 10 | 30,00 | 12,48 | 13,96 | 11,95 | 30 | 0,0035 |
| 11 | 33,00 | 14,68 | 16,33 | 13,86 | 33 | 0,0041 |
| 12 | 36,00 | 18,68 | 20,15 | 17,44 | 36 | 0,0042 |
| 13 | 38,50 | 21,88 | 22,86 | 18,86 | 38,5 | 0,0050 |
| 14 | 37,50 | 24,57 | 26,04 | 22,14 | 37,5 | 0,0054 |
| 15 | 36,00 | 28,54 | 29,36 | 24,10 | 36 | 0,0061 |
| 16 | 36,00 | 33,45 | 32,84 | 25,66 | 36 | 0,0066 |
| 17 | 36,00 | 37,56 | 35,71 | 26,76 | 36 | 0,0071 |
| 18 | 36,00 | 49,00 | 46,00 | 33,00 | 36 | 0,0100 |

Dari data pada tabel hubungan momen dan kelengkungan di atas didapatkan grafik hubungan momen-kelengkungan pada Gambar (5.10.).



Gambar 5.10. Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji II

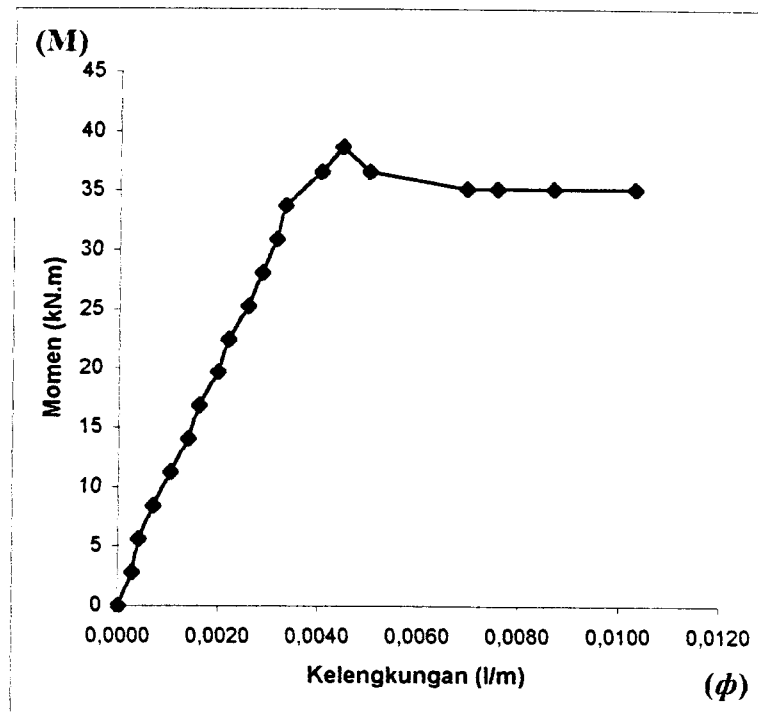
c. Benda Uji III dengan sudut batang pengisi 60°

Dari hasil pengujian perilaku benda uji III didapat data momen-kelengkungan pada Tabel 5.7 berikut ini :

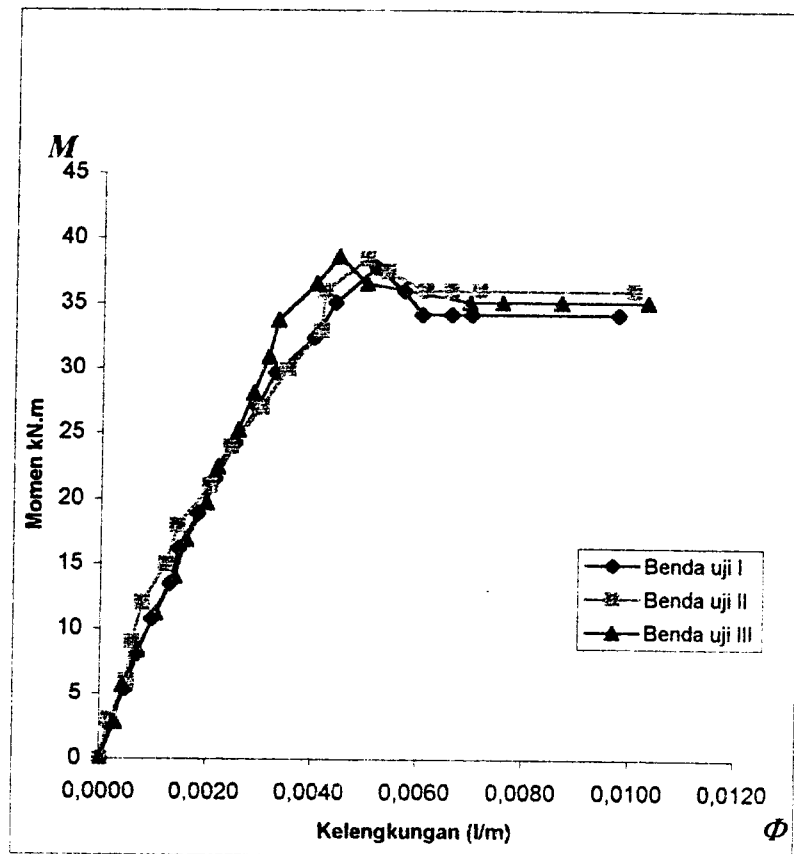
Tabel 5.7. Hubungan Momen-Kelengkungan benda uji III

| No | Beban (kN) | Lendutan | | | Momen (kN.m) | Kelengkungan (m) $\phi=(d_1-2d_2+d_3)/\Delta x^2$ |
|----|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--|
| | | Dial 1 (mm) | Dial 2 (mm) | Dial 3 (mm) | | |
| 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,0000 | 0,0000 |
| 1 | 3,00 | 1,15 | 1,37 | 1,24 | 2,8125 | 0,0003 |
| 2 | 6,00 | 2,08 | 2,38 | 2,17 | 5,6250 | 0,0004 |
| 3 | 9,00 | 3,48 | 3,95 | 3,54 | 8,4375 | 0,0007 |
| 4 | 12,00 | 4,78 | 5,44 | 4,79 | 11,2500 | 0,0010 |
| 5 | 15,00 | 6,22 | 7,05 | 6,12 | 14,0625 | 0,0014 |
| 6 | 18,00 | 7,70 | 8,59 | 7,45 | 16,8750 | 0,0016 |
| 7 | 21,00 | 9,20 | 10,30 | 8,90 | 19,6875 | 0,0020 |
| 8 | 24,00 | 10,30 | 11,58 | 10,10 | 22,5000 | 0,0022 |
| 9 | 27,00 | 11,60 | 13,05 | 11,25 | 25,3125 | 0,0026 |
| 10 | 30,00 | 13,17 | 14,88 | 12,98 | 28,1250 | 0,0029 |
| 11 | 33,00 | 14,72 | 16,72 | 14,75 | 30,9375 | 0,0031 |
| 12 | 36,00 | 16,62 | 18,68 | 16,55 | 33,7500 | 0,0033 |
| 13 | 39,00 | 19,65 | 21,22 | 17,70 | 36,5625 | 0,0040 |
| 14 | 41,25 | 24,15 | 24,22 | 18,66 | 38,6719 | 0,0044 |
| 15 | 39,00 | 27,28 | 26,62 | 19,65 | 36,5625 | 0,0050 |
| 16 | 37,50 | 30,41 | 29,65 | 20,14 | 35,1563 | 0,0069 |
| 17 | 37,50 | 33,47 | 32,24 | 21,48 | 35,1563 | 0,0075 |
| 18 | 37,50 | 38,36 | 36,83 | 24,35 | 35,1563 | 0,0087 |
| 19 | 37,50 | 50,00 | 48,00 | 33,00 | 35,1563 | 0,0103 |

Dari data pada tabel hubungan momen dan kelengkungan di atas didapatkan grafik hubungan momen kelengkungan pada Gambar (5.11.).



Gambar 5.11. Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji III



Gambar 5.12. Grafik Perbandingan Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji I, II dan III.

Dari Grafik 5.12. dapat diketahui bahwa semakin besar sudut batang diagonal semakin besar momen maksimal yang terjadi, tetapi kelengkungannya semakin kecil. Hal di atas dapat dijadikan acuan untuk mengetahui besarnya nilai kekakuan.

5.3. Pembahasan

5.3.1. Perilaku elemen *Open Web Joist*.

Pada penelitian ini, struktur rangka *Open Web Joist* diberi pembebanan secara sentris dengan beban P_{eks} untuk benda uji I, II, dan III secara berurutan 42,00 kN, 38,50 kN, dan 41,25 kN. Dimana pembebanan ini mengakibatkan batang-batang mengalami perubahan tegangan normal, baik tegangan desak ataupun tegangan tarik pada tiap elemen. Tegangan yang terjadi pada tiap elemen perlu dicek terhadap kapasitas bahan elemen tiap benda uji (Lampiran 3 dan 4), hasilnya seperti pada Tabel 5.8, 5.9, 5.10 berikut ini :

Tabel 5.8. Kapasitas elemen benda uji I

| No | Batang (Elemen) | P_{eks} (kN) | Kapasitas (kN) | Keterangan |
|----|-----------------|----------------|----------------|------------|
| 1 | 1 | 0,445 | +101,3894 | Aman |
| 2 | 2 | 21,134 | +101,3894 | Aman |
| 3 | 3 | 42,137 | +101,3894 | Aman |
| 4 | 4 | 62,322 | +101,3894 | Aman |
| 5 | 5 | 62,681 | +101,3894 | Aman |
| 6 | 6 | 62,681 | +101,3894 | Aman |
| 7 | 7 | 62,322 | +101,3894 | Aman |
| 8 | 8 | 42,137 | +101,3894 | Aman |
| 9 | 9 | 21,134 | +101,3894 | Aman |
| 10 | 10 | 0,445 | +101,3894 | Aman |
| 11 | 11 | -20,551 | -54,0623 | Aman |
| 12 | 12 | -41,532 | -54,0623 | Aman |
| 13 | 13 | -62,023 | -54,0623 | Tekuk |
| 14 | 14 | -62,706 | -54,0623 | Tekuk |
| 15 | 15 | -62,634 | -54,0623 | Tekuk |
| 16 | 16 | -62,634 | -54,0623 | Tekuk |
| 17 | 17 | -62,706 | -54,0623 | Tekuk |
| 18 | 18 | -62,023 | -54,0623 | Tekuk |
| 19 | 19 | -41,532 | -54,0623 | Aman |
| 20 | 20 | -20,551 | -54,0623 | Aman |
| 21 | 21 | -10,276 | -32,0955 | Aman |
| 22 | 22 | -10,119 | -32,0955 | Aman |
| 23 | 23 | -10,0765 | -32,0955 | Aman |
| 24 | 24 | -10,2935 | -32,0955 | Aman |

Lanjutan Tabel 5.8. Kapasitas elemen benda uji I

| No | Batang (Elemen) | P_{eks} (kN) | Kapasitas (kN) | Keterangan |
|----|-----------------|----------------|----------------|------------|
| 25 | 25 | -0,103 | -20,92 | Aman |
| 26 | 26 | -0,0395 | -20,92 | Aman |
| 27 | 27 | -0,103 | -20,92 | Aman |
| 28 | 28 | -10,2935 | -32,0955 | Aman |
| 29 | 29 | -10,0765 | -32,0955 | Aman |
| 30 | 30 | -10,119 | -32,0955 | Aman |
| 31 | 31 | -10,276 | -32,0955 | Aman |
| 32 | 32 | 14,2145 | +45 | Aman |
| 33 | 33 | 14,4195 | +45 | Aman |
| 34 | 34 | 14,06 | +45 | Aman |
| 35 | 35 | 0,2685 | +45 | Aman |
| 36 | 36 | 0,0325 | +45 | Aman |
| 37 | 37 | 0,0325 | +45 | Aman |
| 38 | 38 | 0,2685 | +45 | Aman |
| 39 | 39 | 14,06 | +45 | Aman |
| 40 | 40 | 14,4195 | +45 | Aman |
| 41 | 41 | 14,2145 | +45 | Aman |

Tabel 5.9. Kapasitas elemen benda uji II

| No | Batang (Elemen) | P_{eks} (kN) | Kapasitas (kN) | Keterangan |
|----|-----------------|----------------|----------------|------------|
| 1 | 1 | 0,396 | +101,3894 | Aman |
| 2 | 2 | 16,184 | +101,3894 | Aman |
| 3 | 3 | 32,147 | +101,3894 | Aman |
| 4 | 4 | 48,176 | +101,3894 | Aman |
| 5 | 5 | 63,492 | +101,3894 | Aman |
| 6 | 6 | 63,832 | +101,3894 | Aman |
| 7 | 7 | 63,832 | +101,3894 | Aman |
| 8 | 8 | 63,492 | +101,3894 | Aman |
| 9 | 9 | 48,176 | +101,3894 | Aman |
| 10 | 10 | 32,147 | +101,3894 | Aman |
| 11 | 11 | 16,184 | +101,3894 | Aman |
| 12 | 12 | 0,396 | +101,3894 | Aman |
| 13 | 13 | -15,671 | -54,0623 | Aman |
| 14 | 14 | -31,653 | -54,0623 | Aman |
| 15 | 15 | -47,647 | -54,0623 | Aman |
| 16 | 16 | -63,227 | -54,0623 | Tekuk |
| 17 | 17 | -63,848 | -54,0623 | Tekuk |
| 18 | 18 | -63,799 | -54,0623 | Tekuk |
| 19 | 19 | -63,799 | -54,0623 | Tekuk |

Lanjutan Tabel 5.9. Kapasitas elemen benda uji II

| No | Batang (Elemen) | P_{eks} (kN) | Kapasitas (kN) | Keterangan |
|----|-----------------|----------------|----------------|------------|
| 20 | 20 | -63,084 | -54,0623 | Tekuk |
| 21 | 21 | -61,956 | -54,0623 | Tekuk |
| 22 | 22 | -47,081 | -54,0623 | Aman |
| 23 | 23 | -31,237 | -54,0623 | Aman |
| 24 | 24 | -15,455 | -54,0623 | Aman |
| 25 | 25 | -9,393 | -32,0955 | Aman |
| 26 | 26 | -9,215 | -32,0955 | Aman |
| 27 | 27 | -9,2785 | -32,0955 | Aman |
| 28 | 28 | -9,1715 | -32,0955 | Aman |
| 29 | 29 | -9,399 | -32,0955 | Aman |
| 30 | 30 | -0,1255 | -20,92 | Aman |
| 31 | 31 | -0,043 | -20,92 | Aman |
| 32 | 32 | -0,1255 | -20,92 | Aman |
| 33 | 33 | -9,399 | -32,0955 | Aman |
| 34 | 34 | -9,1715 | -32,0955 | Aman |
| 35 | 35 | -9,2785 | -32,0955 | Aman |
| 36 | 36 | -9,215 | -32,0955 | Aman |
| 37 | 37 | -9,393 | -32,0955 | Aman |
| 38 | 38 | 11,9245 | +45 | Aman |
| 39 | 39 | 12,0745 | +45 | Aman |
| 40 | 40 | 12,099 | +45 | Aman |
| 41 | 41 | 11,7505 | +45 | Aman |
| 42 | 42 | 0,275 | +45 | Aman |
| 43 | 43 | 0,025 | +45 | Aman |
| 44 | 44 | 0,025 | +45 | Aman |
| 45 | 45 | 0,275 | +45 | Aman |
| 46 | 46 | 11,7505 | +45 | Aman |
| 47 | 47 | 12,099 | +45 | Aman |
| 48 | 48 | 12,0745 | +45 | Aman |
| 49 | 49 | 11,9245 | +45 | Aman |

Tabel 5.10. Kapasitas elemen benda uji III

| No | Batang (Elemen) | P_{eks} (kN) | Kapasitas (kN) | Keterangan |
|----|-----------------|----------------|----------------|------------|
| 1 | 1 | 0,433 | +101,3894 | Aman |
| 2 | 2 | 12,837 | +101,3894 | Aman |
| 3 | 3 | 25,44 | +101,3894 | Aman |
| 4 | 4 | 38,017 | +101,3894 | Aman |
| 5 | 5 | 50,667 | +101,3894 | Aman |
| 6 | 6 | 62,54 | +101,3894 | Aman |
| 7 | 7 | 62,934 | +101,3894 | Aman |

Lanjutan Tabel 5.10. Kapasitas elemen benda uji III

| No | Batang (Elemen) | P_{oks} (kN) | Kapasitas (kN) | Keterangan |
|----|-----------------|----------------|----------------|------------|
| 8 | 8 | 62,926 | +101,3894 | Aman |
| 9 | 9 | 62,926 | +101,3894 | Aman |
| 10 | 10 | 62,934 | +101,3894 | Aman |
| 11 | 11 | 62,54 | +101,3894 | Aman |
| 12 | 12 | 50,667 | +101,3894 | Aman |
| 13 | 13 | 38,017 | +101,3894 | Aman |
| 14 | 14 | 25,44 | +101,3894 | Aman |
| 15 | 15 | 12,837 | +101,3894 | Aman |
| 16 | 16 | 0,433 | +101,3894 | Aman |
| 17 | 17 | -12,295 | -54,0623 | Aman |
| 18 | 18 | -24,907 | -54,0623 | Aman |
| 19 | 19 | -37,486 | -54,0623 | Aman |
| 20 | 20 | -50,112 | -54,0623 | Aman |
| 21 | 21 | -62,253 | -54,0623 | Tekuk |
| 22 | 22 | -62,937 | -54,0623 | Tekuk |
| 23 | 23 | -62,926 | -54,0623 | Tekuk |
| 24 | 24 | -62,928 | -54,0623 | Tekuk |
| 25 | 25 | -62,928 | -54,0623 | Tekuk |
| 26 | 26 | -62,926 | -54,0623 | Tekuk |
| 27 | 27 | -62,937 | -54,0623 | Tekuk |
| 28 | 28 | -62,253 | -54,0623 | Tekuk |
| 29 | 29 | -50,112 | -54,0623 | Aman |
| 30 | 30 | -37,486 | -54,0623 | Aman |
| 31 | 31 | -24,907 | -54,0623 | Aman |
| 32 | 32 | -12,295 | -54,0623 | Aman |
| 33 | 33 | -9,8025 | -32,0955 | Aman |
| 34 | 34 | -9,5525 | -32,0955 | Aman |
| 35 | 35 | -9,629 | -32,0955 | Aman |
| 36 | 36 | -9,6325 | -32,0955 | Aman |
| 37 | 37 | -9,483 | -32,0955 | Aman |
| 38 | 38 | -9,78 | -32,0955 | Aman |
| 39 | 39 | -0,215 | -20,92 | Aman |
| 40 | 40 | -0,0255 | -20,92 | Aman |
| 41 | 41 | -0,004 | -20,92 | Aman |
| 42 | 42 | -0,0255 | -20,92 | Aman |
| 43 | 43 | -0,215 | -20,92 | Aman |
| 44 | 44 | -9,78 | -32,0955 | Aman |
| 45 | 45 | -9,483 | -32,0955 | Aman |
| 46 | 46 | -9,6325 | -32,0955 | Aman |
| 47 | 47 | -9,629 | -32,0955 | Aman |
| 48 | 48 | -9,5525 | -32,0955 | Aman |
| 49 | 49 | -9,8025 | -32,0955 | Aman |
| 50 | 50 | 11,176 | +45 | Aman |

Lanjutan Tabel 5.10. Kapasitas elemen benda uji III

| No | Batang (Elemen) | P_{eks} (kN) | Kapasitas (kN) | Keterangan |
|----|-----------------|----------------|----------------|------------|
| 51 | 51 | 11,371 | +45 | Aman |
| 52 | 52 | 11,3485 | +45 | Aman |
| 53 | 53 | 11,394 | +45 | Aman |
| 54 | 54 | 10,919 | +45 | Aman |
| 55 | 55 | 0,368 | +45 | Aman |
| 56 | 56 | 0,0075 | +45 | Aman |
| 57 | 57 | 0,0015 | +45 | Aman |
| 58 | 58 | 0,0015 | +45 | Aman |
| 59 | 59 | 0,0075 | +45 | Aman |
| 60 | 60 | 0,368 | +45 | Aman |
| 61 | 61 | 10,919 | +45 | Aman |
| 62 | 62 | 11,394 | +45 | Aman |
| 63 | 63 | 11,3485 | +45 | Aman |
| 64 | 64 | 11,371 | +45 | Aman |
| 65 | 65 | 11,176 | +45 | Aman |

Dari Tabel 5.8, 5.9, 5.10 dapat diketahui bahwa elemen batang pengisi *Open Web Joist* mempunyai kapasitas bahan yang lebih besar dari beban yang terjadi sehingga tidak terjadi bahaya *buckling*, dan pada profil C canai horizontal sisi atas mengalami gaya tekan dengan kapasitas bahannya (P_{cr}) lebih kecil dari gaya batang yang terjadi sehingga menimbulkan perilaku *buckling*.

5.3.2. Tekuk lentur *Open Web Joist* ditinjau dari hubungan Momen-Kelengkungan

Elemen penyusun *Open Web Joist* dihubungkan dengan menggunakan las, maka joint-joint dianggap kaku, yaitu sudut antara batang-batangnya tidak mengalami perubahan. Batang-batang yang cenderung berputar terhadap jointnya senantiasa akan mengalami tahanan pada joint-joint yang rigid sehingga struktur balok *Open Web Joist* tersebut akan melentur dan mengalami lendutan.

Adanya perbedaan besar sudut batang pengisi diagonal tiap benda uji mengakibatkan panjang efektif (Lk) berbeda, dimana semakin pendek Lk maka jumlah batang pengisi vertikal akan semakin banyak (panjang batang $L = \text{konstan}$) dan mengakibatkan struktur balok semakin kaku.

Untuk mengetahui kekakuan *Open Web Joist* tidak dapat ditinjau dari hubungan beban dan lendutan, hal ini dikarenakan jarak antara titik beban dengan tumpuan tiap benda uji berbeda yaitu 1,80 m, 2,00 m, dan 1,875 m. Maka nilai kekakuan ditinjau dari hubungan momen dan kelengkungan dengan besar nilai kekakuan $EI = tg\theta = k = \frac{M}{\Phi}$, seperti pada tabel 5.11 berikut :

Tabel 5.11. Nilai Kekakuan Benda Uji I, II dan III dengan $L = 6,00$ m

| Benda Uji | Momen (kNm) | Kelengkungan ($1/mm$) | $EI = tg\theta = k = M/\Phi$ ($kNmm^2$) | θ |
|-------------------------|--------------------|----------------------------|--|------------|
| I $\alpha = 45^\circ$ | 37,800 | $5,2 \times 10^{-3}$ | 7269230,77 | 89,9999921 |
| II $\alpha = 50^\circ$ | 38,500 | $5,0 \times 10^{-3}$ | 7700000,00 | 89,9999926 |
| III $\alpha = 60^\circ$ | 38,672 | $4,4 \times 10^{-3}$ | 8790090,91 | 89,9999934 |

Dari grafik hubungan beban-lendutan hasil pengujian tekuk lentur *Open Web Joist* dapat dilihat bahwa tekuk lentur *Open Web Joist* dengan batang horizontal profil C canai dingin dengan $(b/t) \geq 25$ mengalami $F_{cr} < F_y$ (tegangan kritis yang terjadi jauh di bawah tegangan lelehnya), sehingga terjadinya *buckling* diawali pada sayap kemudian diikuti *buckling* pada badan. Perilaku ini dinamakan tekuk setempat, dimana elemen pelat dapat mengakibatkan kehancuran penampang keseluruhan terlalu dini, atau paling sedikit menyebabkan tegangan

menjadi tidak merata dan dapat mengurangi kekuatan keseluruhan (*Salmon dan Johnson, 1994*).

Tekuk lokal yang dialami profil C canai juga disebabkan adanya faktor k (kondisi ujung-ujung elemen). Dimana pada kondisi ideal sayap pelat tumpuan diasumsikan tumpuan sederhana dan bebas dengan nilai $k = 0,425$ dan pada badan apabila kedua tumpuan diasumsikan tumpuan sederhana maka nilai k sebesar 4. Namun kenyataan di lapangan nilai k yang didapat pada badan berkisar 3, yang berarti kondisi tumpuan antara tumpuan sederhana – tumpuan sederhana dengan tumpuan sederhana – bebas (Lampiran 4).

Jika dibandingkan kekuatan bahan ketika diuji di laboratorium dan analisis numeris, maka akan terdapat perbedaan kekuatan. Dimana secara analisis numeris kekuatan bahan akan lebih besar dibandingkan pada waktu pengujian. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh tegangan residu, dimana tegangan residu hanya dapat diketahui dengan membandingkan diagram tegangan-tegangan hasil uji tekan dua benda uji. Satu diantaranya tanpa tegangan residu dan yang lain dengan tegangan residu. (*Padosbajayo, 1992*).

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

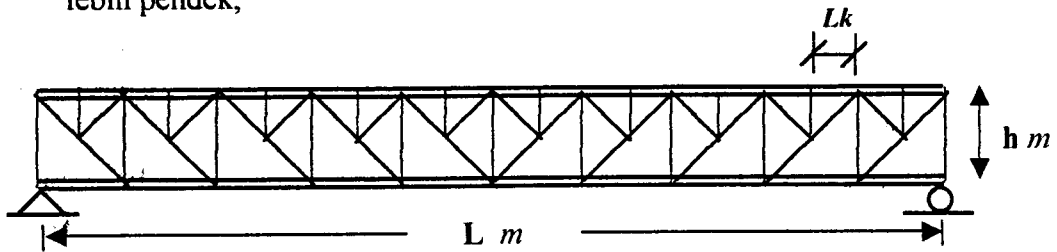
Hasil pengujian perilaku balok badan terbuka canai dingin menunjukkan bahwa :

1. Pada pengujian tekuk lentur terjadi tekuk lokal pada sayap batang desak horizontal sisi atas. Hal ini disebabkan profil C canai dingin terbuat dari pelat tipis dengan perbandingan $(b/t) \geq 25$, dimana tegangan kritisnya jauh di bawah tegangan lelehnya ($F_{cr} < F_y$).
2. Pengaruh besar sudut batang diagonal yang mengakibatkan batang desak horizontal sisi atas semakin pendek mampu meningkatkan nilai kapasitas balok dengan kenaikan yang sangat kecil. Namun batang desak tersebut mengalami tekuk lokal lebih awal.
3. *Open Web Joist* tidak mempunyai daktilitas yang baik, karena pengaruh tekuk lokal pada profil C.

6.2. Saran

Untuk penelitian lebih lanjut tentang analisis perbandingan *Open Web Joist* yang menggunakan batang horizontal profil C canai dingin yang terbuat dari pelat tipis dengan perbandingan $(b/t) \geq 25$ perlu adanya pertimbangan hal-hal sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan nilai P_{cr} profil C canai perlu dilakukan uji desak profil dengan variasi panjang L .
2. Pada pengujian lentur *Open Web Joist*, untuk benda uji dengan batang horizontal berupa profil C canai dingin pada batang pengisi diagonal perlu ditambahkan batang anak yang akan memberikan panjang efektif (L_k) lebih pendek,



3. Pada penelitian ini hanya menggunakan variasi sudut, dimana pengaruh variasi ketinggian h pada balok perlu untuk diteliti.

DAFTAR PUSTAKA

- Boldgett, Omer, W., *DESIGN OF WELDED STRUCTURES*, The James F. Lincolnd Arc welding Foundation, 1996.
- Bowles, Joseph, E., *DESAIN BAJA KONSTRUKSI*, P.T. Erlangga, Jakarta, 1985.
- Bresler, Boris, Lin, T.Y dan Scalzi, J.B., *DESIGN OF STEEL STRUCTURES, 2nd ed.*, John Wiley and Sons, New York, 1957.
- Charles G. Salmon, John E. Johnson, *STRUKTUR BAJA DESAIN DAN PERILAKU*, Jilid1- Edisi Kedua, P.T. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1990.
- Kuzmanovic, Bogdan O. dan Willems, N., *STEEL DESIGN FOR STRUCTURAL ENGINEERS*, Prentice-Hall, inc-Englewood Chiff, New Jersey, 1977.
- Logowo Aji D dan A. Subekti, *KUAT LENTUR BALOK BADAN TERBUKA (OPEN WEB JOIST) DARI PROFIL C CANAI DINGIN*, Skripsi, UII, Yogyakarta, 2001.
- Michael Bruneau, Chia-Ming Uang, Andrew Wittaker, *DUCTILE DESIGN OF STEEL STRUCTURE*, McGraw-Hill, 1998.
- Padosbajayo, *PENGETAHUAN DASAR STRUKTUR BAJA*, Edisi Ketiga, Yogyakarta, 1994.
- Richard M. Barker, Jay A. Puckett, *DESIGN OF HIGHWAY BRIDGES BASED ON AASHTO LRFD, BRIDGES DESIGN SPECIFICATION*, John Wiley and Sons, New York, 1997.
- Spiegel, Leonard dan Limbrunner, George. *DESAIN BAJA STRUKTURAL TERAPAN*. P.T. Eresco, 1991.
- Szilard, Rudolf, *TEORI DAN ANALISIS PELAT*, P.T. Erlangga, Jakarta, 1989.
- Tall, Lambert, *STRUCTURAL STEEL DESIGN*, The Ronald Press Company, New York, 1974.

LAMPIRAN

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

| NO. | N A M A | NO. MHS | MID. ST. 100 |
|-----|------------------|------------|--------------|
| 1 | M. Yudha Anrofa | 06 510 054 | 100 |
| 2 | M. Buxron Hanafi | 06 510 091 | 100 |

JUDUL TUGAS AKHIR :

Stabilitas balok badan terbuka gabungan profil cacah dengan

**PERIODE IV : JUNI - NOPEMBER
TAHUN : 2001 / 2002**

| No. | Kegiatan | Bulan | | | |
|-----|----------------------------|-------|------|---------|-----------|
| | | Juni | Juli | Agustus | September |
| 1. | Pendaftaran | | | | |
| 2. | Pemilihan Dosen Pembimbing | | | | |
| 3. | Pembuatan Proposal | | | | |
| 4. | Seminar Proposal | | | | |
| 5. | Konsultasi Penyusunan TA. | | | | |
| 6. | Sidang Sidang | | | | |
| 7. | Pendaftaran | | | | |

DOSEN PEMBIMBING I : Ir. Fatkhurrahman, S.T., M.T.

DOSEN PEMBIMBING II : Ir. H. Suharyono, M.T.



Yogyakarta, 17 September 2001
A. N. Wahan,

87

(Signature)



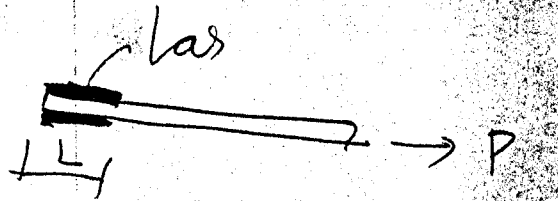




IR. H. MUNADIR, MS.

Catatan :

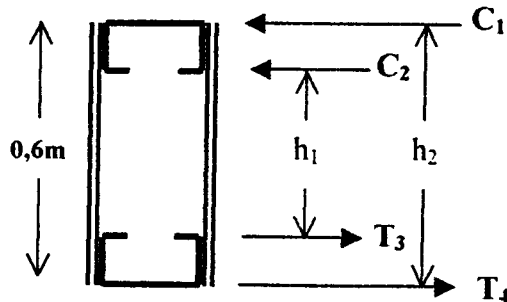
- Seminar :
- Sidang :
- Pendaftaran :



CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

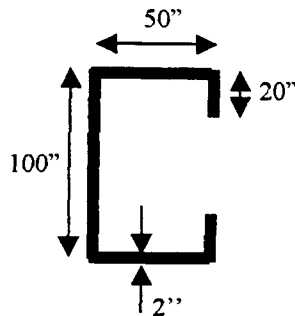
| NO. | TANGGAL | CATATAN KONSULTASI | TANDA TANGAN |
|-----|---------|--|--|
| → | | Proposal disederhanakan & diperbaiki |  7/12/01 |
| | | Dipersingkat / di ringkas |  29/1/02 |
| | |  |  4/2/02 |
| | | Perbaiki |  5/4/02 |
| | | Di lanjutkan DPT |  8/4/02 |
| | | Bolos & dng |  10/4-2002 |

I. TEGANGAN BAHAN PROFIL C CANAI



$$h_1 = 0,5 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,6 \text{ m}$$



Profil Canal Light : C100x50x20x2

$$- \text{ Sayap } \left(\frac{b}{t} \right) = \frac{50}{2} = 25$$

$$- \text{ Badan } \left(\frac{h}{t} \right) = \frac{100}{2} = 50$$

$$\diamond F_{cr2} = F_{cr3} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t} \right)^2}, \text{ dengan nilai } k = 0,425 \text{ pada sayap.}$$

$$= \frac{0,425 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12(1 - 0,3^2)(25)^2}$$

$$= 122,918 \text{ Mpa} < F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$\diamond F_{cr1} = F_{cr4} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t} \right)^2}, \text{ dengan nilai } k = 4 \text{ pada Badan}$$

$$= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12(1 - 0,3^2)(50)^2}$$

$$= 289,219 \text{ Mpa} > F_y = 240 \text{ Mpa}$$

- $P_{cr1} = F_{cr} \times A_{\text{Sayap}}$

$$= 122,918 \text{ N/mm}^2 \times (50 \cdot 2) \text{ mm}^2 \times 2$$

$$= 24.583,6 \text{ N} = 24,5836 \text{ kN}$$

- $P_{cr2} = F_{cr} \times A_{\text{Badan}}$

$$= 240 \text{ N/mm}^2 \times (100 \cdot 2) \text{ mm}^2 \times 1$$

$$= 48.000 \text{ N} = 48 \text{ kN}$$

$$\sum P_{cr} = 24,5836 + 48 = 72,5836 \text{ kN}$$

$$P_{cr \text{ rata-rata}} = \frac{72,5836}{2} = 36,2918 \text{ kN}$$

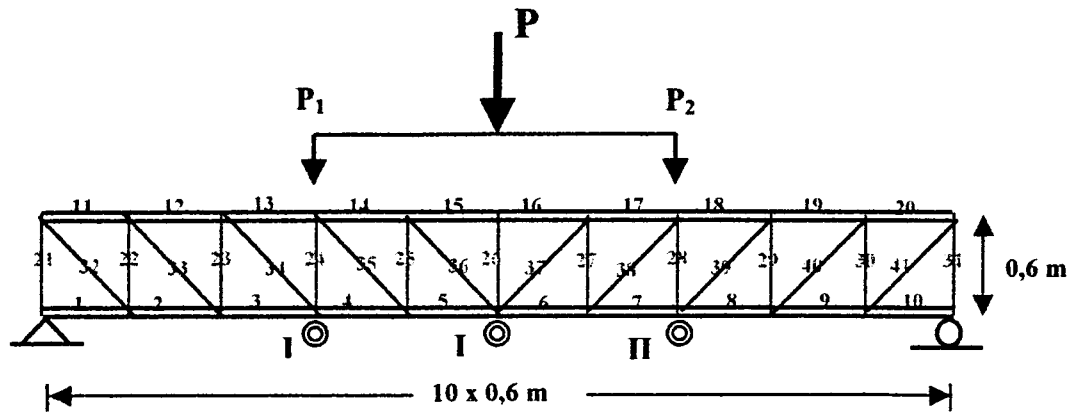
- ♦ $Mn = P_{cr1} \cdot h_1 + P_{cr2} \cdot h_2$

$$= 24,5836 \cdot 0,5 + 48 \cdot 0,6$$

$$= 41,092 \text{ kNm}$$

II. PERHITUNGAN DIMENSI BATANG PENGISI

2.1. Benda Uji I ($\alpha_1 = 45^\circ$).



$$M = \frac{P}{2} \cdot \frac{3}{10} \cdot L \Rightarrow 41,092 = \frac{P}{2} \cdot \frac{3}{10} \cdot 6$$

$$P = 45,658 \text{ kN}$$

$$= 4,5658 \text{ ton}$$

◆ Gaya Batang Vertikal (desak) :

- Batang 21 = 31 = - 22,342 kN
- Batang 22 = 30 = - 22,000 kN.
- Batang 23 = 29 = - 21,908 kN.
- Batang 24 = 28 = - 22,380 kN.
- Batang 25 = 27 = - 0,224 kN.
- Batang 26 = - 0,085 kN.

◆ Gaya Batang Diagonal (tarik) :

- Batang 32 = 41 = + 30,906 kN.
- Batang 33 = 40 = + 31,350 kN
- Batang 34 = 39 = + 30,569 kN
- Batang 35 = 38 = + 0,584 kN
- Batang 36 = 37 = + 0,071 kN

■ F_{cr} untuk batang vertikal 21,22,23,24 = 23 kN (desak).

$$\begin{aligned}
 F_{cr} &= \frac{\pi^2 \cdot E}{(kL/r)^2} \\
 &= \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{(0,7 \cdot 600/3)^2} \\
 &= 100,7 \text{ Mpa} < F_y = 240 \text{ Mpa} \\
 A &= \frac{P_{kr}}{\sigma_{kr}} = \frac{11500}{100,7} = 114,200 \text{ mm}^2 \\
 A &= \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \times 114,200}{\pi}} = 12,058 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } \varnothing 16 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

■ F_{cr} untuk batang vertikal 25, 26, 27 = 0,3 kN (desak).

$$\begin{aligned}
 F_{cr} &= \frac{\pi^2 \cdot E}{(kL/r)^2} \\
 &= \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{(0,7 \cdot 600/3)^2} \\
 &= 100,7 \text{ Mpa} < F_y = 240 \text{ Mpa} \\
 A &= \frac{P_{kr}}{\sigma_{kr}} = \frac{150}{100,7} = 1,50 \text{ mm}^2 \\
 A &= \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \times 1,50}{\pi}} = 1,4 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } \varnothing 12 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

■ F_{cr} untuk batang diagonal = 31,5 kN (tarik)

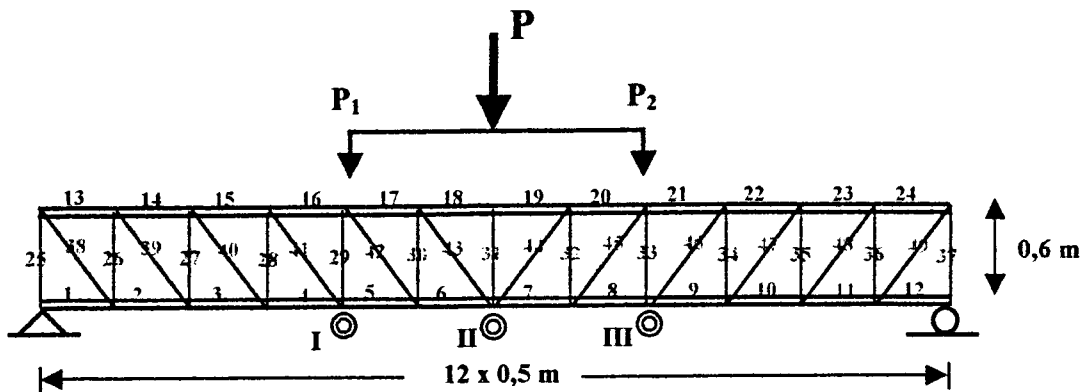
F_{cr} diambil = $F_y = 240 \text{ Mpa}$.

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{P_{kr}}{\sigma_{kr}} = \frac{15750}{240} = 65,625 \text{ mm}^2 \\
 A &= \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \times 65,625}{\pi}} = 9,140 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } \varnothing 10 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

Jadi \varnothing tulangan yang dipakai untuk batang pengisi :

- * Untuk batang : 21, 22, 23, 24, dan 28, 29, 30, 31 = $\varnothing 16 \text{ mm}$.
- * Untuk batang : 25, 26, 27 = $\varnothing 12 \text{ mm}$.
- * Untuk batang : 32, 33, 34, 35, 36 dan 37, 38, 39, 40, 41 = $\varnothing 10 \text{ mm}$.

2.2. Benda Uji II ($\alpha_2 = 50^\circ$).



$$M = \frac{P}{2} \cdot \frac{4}{12} \cdot L \Rightarrow 41,092 = \frac{P}{2} \cdot \frac{4}{12} \cdot 6$$

$$P = 41,092 \text{ kN}$$

$$= 4,1092 \text{ ton.}$$

◆ Gaya Batang Vertikal (desak) :

- Batang 25 = 37 = - 20,051 kN.
- Batang 26 = 36 = - 19,670 kN.
- Batang 27 = 35 = - 19,807 kN.
- Batang 28 = 34 = - 19,578 kN.
- Batang 29 = 33 = - 20,063 kN.
- Batang 30 = 32 = - 0,268 kN
- Batang 31 = 0,091 kN.

◆ Gaya Batang Diagonal (tarik) :

- Batang 38 = 49 = + 25,455 kN
- Batang 39 = 48 = + 25,774 kN
- Batang 40 = 47 = +25,827 kN
- Batang 41 = 46 = + 25,083 kN
- Batang 42 = 45 = + 0,587 kN
- Batang 43 = 44 = 0,053 kN

■ F_{cr} untuk batang vertikal 25, 26, 27, 28, 29 = 21 kN (desak).

$$\begin{aligned}F_{cr} &= \frac{\pi^2 \cdot E}{(kL/r)^2} \\&= \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{(0,7 \cdot 600/3)^2} \\&= 100,7 \text{ Mpa} < F_y = 240 \text{ Mpa.} \\A &= \frac{P_{kr}}{\sigma_{kr}} = \frac{10500}{100,7} = 104,270 \text{ mm}^2 \\A &= \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \times 104,270}{\pi}} = 11,522 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } \varnothing 16 \text{ mm.}\end{aligned}$$

■ F_{cr} untuk batang vertikal 30, 31 = 0,3 kN (desak).

$$\begin{aligned}F_{cr} &= \frac{\pi^2 \cdot E}{(kL/r)^2} \\&= \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{(0,7 \cdot 600/3)^2} \\&= 100,7 \text{ Mpa} < F_y = 240 \text{ Mpa} \\A &= \frac{P_{kr}}{\sigma_{kr}} = \frac{150}{100,7} = 1,50 \text{ mm}^2 \\A &= \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \times 1,50}{\pi}} = 1,4 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } \varnothing 12 \text{ mm}\end{aligned}$$

■ F_{cr} untuk batang Diagonal = 26 kN (tarik)

F_{cr} diambil = $F_y = 240 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned}A &= \frac{P_{kr}}{\sigma_{kr}} = \frac{13000}{240} = 54,167 \text{ mm}^2 \\A &= \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \times 54,167}{\pi}} = 8,305 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } \varnothing 10 \text{ mm.}\end{aligned}$$

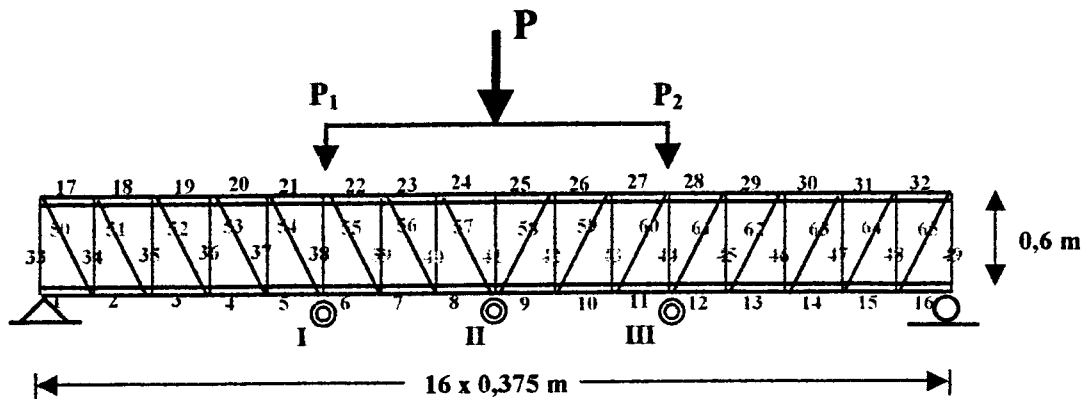
Jadi \varnothing tulangan yang dipakai untuk batang pengisi :

* Untuk batang : 25, 26, 27, 28, 29 dan 33, 34, 35, 36, 37 = $\varnothing 16 \text{ mm}$.

* Untuk batang : 30, 31, 32 = $\varnothing 12 \text{ mm}$.

* Untuk batang : 38, 39, 40, 41, 42, 43 dan 44, 45, 46, 47, 48, 49 = $\varnothing 10 \text{ mm}$.

2.3. Benda Uji III ($\alpha_3 = 60^\circ$).



$$M = \frac{P}{2} \cdot \frac{5}{16} \cdot L \Rightarrow 41,092 = \frac{P}{2} \cdot \frac{5}{16} \cdot 6$$

$$P = 43,831 \text{ kN}$$

$$= 4,3831 \text{ ton.}$$

◆ Gaya Batang Vertikal (desak) :

- Batang 33 = 49 = - 21,217 kN.
- Batang 34 = 48 = - 20,676 kN.
- Batang 35 = 47 = - 20,841 kN.
- Batang 36 = 46 = - 20,849 kN.
- Batang 37 = 45 = - 20,526 kN.
- Batang 38 = 44 = - 21,168 kN
- Batang 39 = 43 = - 0,466 kN.
- Batang 40 = 42 = - 0,055 kN
- Batang 41 = 0,009 kN.

◆ Gaya Batang Diagonal (tarik) :

- Batang 50 = 65 = + 24,190 kN.
- Batang 51 = 64 = + 24,613 kN.
- Batang 52 = 63 = + 24,564 kN.
- Batang 53 = 62 = + 24,662 kN
- Batang 54 = 61 = + 23,634 kN.
- Batang 55 = 60 = 0,796 kN.

- Batang 56 = 59 = 0,016 kN

- Batang 57 = 58 = 0,004 kN.

■ F_{cr} untuk batang vertikal 33, 34, 35, 36, 37, 38 = 22 kN (desak).

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(kL/r)^2}$$
$$= \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{(0,7 \cdot 600/3)^2}$$

$$= 100,7 \text{ Mpa} < F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$A = \frac{P_{kr}}{\sigma_{kr}} = \frac{11000}{100,7} = 109,235 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot 109,235}{\pi}} = 11,793 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } \varnothing 16 \text{ mm.}$$

■ F_{cr} untuk batang vertikal 39, 40, 41 = 0,50 kN (desak).

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(kL/r)^2}$$
$$= \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{(0,7 \cdot 600/3)^2}$$

$$= 100,7 \text{ Mpa} < F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$A = \frac{P_{kr}}{\sigma_{kr}} = \frac{250}{100,7} = 2,50 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,50}{\pi}} = 1,8 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } \varnothing 12 \text{ mm.}$$

■ F_{cr} untuk batang horizontal = 25 kN (tarik)

F_{cr} diambil = $F_y = 240 \text{ Mpa}$.

$$A = \frac{P_{kr}}{\sigma_{kr}} = \frac{12 \cdot 500}{240} = 52,083 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot 52,083}{\pi}} = 8,143 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } \varnothing 10 \text{ mm.}$$

Jadi \emptyset tulangan yang dipakai untuk batang pengisi :

* Untuk batang : 33, 34, 35, 36, 37, 38 dan 44, 45, 46, 47, 48, 49 = \emptyset 16 mm.

* Untuk batang : 39, 40, 41, 42, 43 = \emptyset 12 mm.

* Untuk batang : 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57 dan 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65
= \emptyset 10 mm.

III. KONTROL PERHITUNGAN RENCANA BATANG PENGISI :

3.1. BATANG TEKAN (vertikal).

Menurut AISC, ada 2 batang tekan yaitu :

1. Batang tekuk elastis
2. Batang tekuk in-elastis .

3.1.1. Batang Tekan \varnothing_{16} (L = 0,6 m)

Dari baja tulangan $\varnothing 16$ didapat :

$$A = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 201,1 \text{ mm}^2 .$$

$$I = \frac{1}{64} \pi \cdot d^4 = 3217 \text{ mm}^4 .$$

$$r = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = 4 \text{ mm} .$$

* Hasil dari aplikasi program SAP 90 diambil gaya terbesar sebagai berikut :

$$P_{\text{yang terjadi}} = 23 \text{ kN} .$$

$$L = 600 \text{ mm} .$$

$$r = 4 \text{ mm} .$$

$$f_a = \frac{P}{A} = \frac{11.500}{201,1} = 52,2128 \text{ N/mm}^2 .$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2 \times 10^5}{240}} = 128,255 .$$

$$\frac{Lk}{r} = \frac{600 \times 0,7}{4} = 105 < 200 .$$

$$\frac{Lk}{r} < C_c \Rightarrow \text{Keruntuhan in-elastis} .$$

Maka tegangan yang terjadi adalah :

$$F_a = F_y \cdot \left[1 - \frac{(Lk/r)^2}{2C_c^2} \right]$$

$$F_a = 240 \cdot \left[1 - \frac{(105)^2}{2 \times 126,099^2} \right]$$

$$= 15,96 \text{ N/mm}^2.$$

$$P_{ijm} = F_a \times A$$

$$= 15,96 \times 201,1$$

$$= 32.095,56 \text{ N mm}^2.$$

$$= 32,09556 \text{ kN} > P_{\text{yang terjadi}} = 11,5 \text{ kN}$$

(Aman)

3.1.2. Batang Tekan \emptyset_{12} (L = 0,6 m).

Dari baja tulangan \emptyset_{12} didapat :

$$A = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 113,1 \text{ mm}^2.$$

$$I = \frac{1}{64} \pi \cdot d^4 = 1020 \text{ mm}^4.$$

$$r = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = 3 \text{ mm}.$$

* Hasil dari aplikasi program SAP 90 diambil gaya terbesar sebagai berikut :

$$P_{\text{yang terjadi}} = 0,5 \text{ kN}.$$

$$L = 600 \text{ mm}.$$

$$r = 3 \text{ mm}.$$

$$f_a = \frac{P}{A} = \frac{250}{113,1} = 2,21043 \text{ N/mm}^2.$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2 \times 10^5}{240}} = 128,255.$$

$$\frac{Lk}{r} = \frac{600 \times 0,7}{3} = 140 < 200.$$

$$\frac{Lk}{r} < C_c \Rightarrow \text{Keruntuhan elastis}.$$

Maka tegangan yang terjadi adalah :

$$Fa = Fy \cdot \left[1 - \frac{(Lk/r)^2}{2Cc^2} \right]$$

$$Fa = 240 \cdot \left[1 - \frac{(105)^2}{2 \cdot 128,255^2} \right]$$
$$= 159,571 \text{ N/mm}^2.$$

$$P_{ijin} = Fa \times A$$

$$= 159,571 \times 113,1$$

$$= 20,92 \text{ kN} > P_{yang\ terjadi} = 2,5 \text{ kN.}$$

(Aman)

3.2. BATANG TARIK (diagonal)

* Hasil dari aplikasi program SAP90 diambil gaya terbesar = 16 kN..

* Hasil uji tarik tulangan $\varnothing 10 \text{ mm}$ di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Teknik Sipil UII Yogyakarta, didapat data sebagai berikut :

- Beban Maksimum = 4500 kg = 45 kN.
- Beban patah = 3880 kg = 38,8 kN.
- Beban luluh = 3050 kg = 30,50 kN.
- Kuat tarik = 6089,31 kg/cm² = 608,931 Mpa

Jadi, $P_{ijin} = 4500 \text{ kg} = 45 \text{ kN} > P_{tarik\ maks\ yang\ terjadi} = 16 \text{ kN.}$

(Tulangan $\varnothing 10$ dapat digunakan untuk batang tarik → tinjauan aman).

IV. PERHITUNGAN BATANG TEKAN PROFIL C (PERHITUNGAN DESAIN).

Batang Tekan AISC :

Syarat : 1. σ yang terjadi $\leq \sigma$ ijin.

2. λ batang ≤ 200 .

$$\text{Dengan, } \lambda = \frac{Lk}{r_{\min}} \text{ dan } r_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}}$$

Keterangan : λ = kelangsingan batang, L = panjang batang, k = faktor panjang efektif dengan kondisi tumpuan dan r_{\min} = radius gyration minimum.

* Syarat Kelangsingan :

$$\frac{Lk}{r} > C_c \Rightarrow \text{Terjadi tekuk Elastis, } \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(Lk/r)^2}$$

$$\frac{Lk}{r} < C_c \Rightarrow \text{Terjadi tekuk in-Elastis, } \sigma_{cr} = Q \cdot F_y \cdot \left[1 - \frac{(Lk/r)^2}{2 \cdot C_c^2} \right] < 0,6 F_y$$

* Kelangsingan kritis dengan pengaku = C_c' .

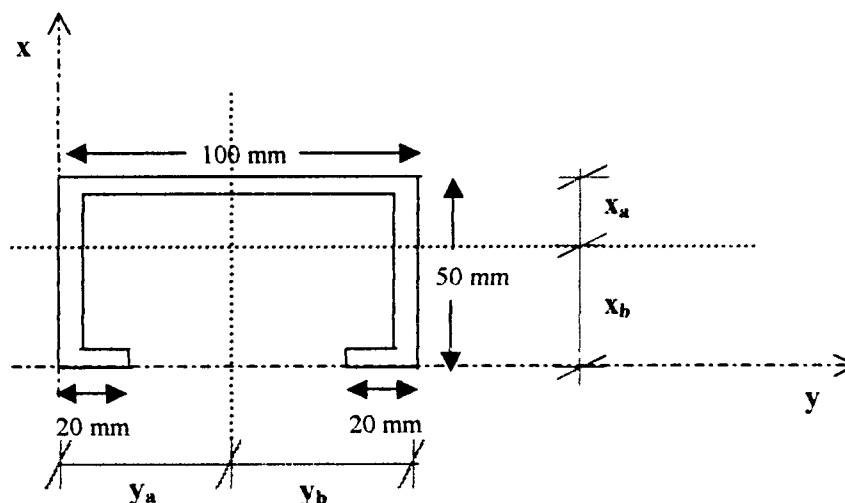
$$C_c' = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{Q \cdot F_y}}$$

dengan Q adalah faktor bentuk elemen, dimana $Q = Q_a \cdot Q_s$

Q_s = faktor bentuk elemen yang tidak diperkuat

Q_a = faktor bentuk elemen yang diperkuat.

◆ Inersia Profil C 100x50x20x2



- $A = 464 \text{ mm}^2$.

- **Letak sumbu y :**

Statis momen luas terhadap SISI BAWAH =

$$\begin{aligned} x_b &= \frac{(100.2).49 + \langle(2.46).25\rangle.2 + \langle(20.2).1\rangle.2}{(100.2) + (2.46).2 + (20.2).2} \\ &= \frac{14.480}{464} \\ &= 31,21 \text{ mm.} \end{aligned}$$

- **Letak sumbu x :**

Statis momen luas terhadap SISI KIRI =

$$\begin{aligned} y_a &= \frac{(100.2).50 + (2.46).1 + (2.46).99 + (20.2).10 + (20.2).90}{(100.2) + (2.46).2 + (20.2).2} \\ &= \frac{23.200}{464} \\ &= 50 \text{ mm.} \end{aligned}$$

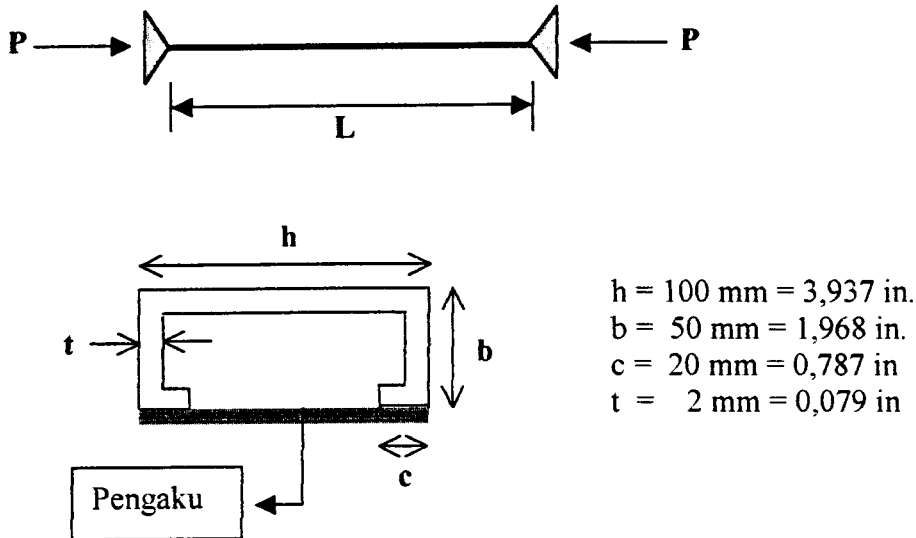
$$\begin{aligned} I_x &= 1/12(100^3.2) + (100.2).(0^2) + \{1/12.(2^3.46) + (2.46).(49^2)\}.2 \\ &\quad + \{1/12(20^3.2) + (20.2).(40^2)\}.2 \\ &= 166.666,667 + 441.845,333 + 137.000 \\ &= 745.512 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_y &= 1/12.(100.2^3) + (100.2).(17,79^2) + \{1/12.(2.46^3) + (2.46).(8,21^2)\}.2 \\ &\quad + \{1/12.(20.2^3) + (20.2).(30,21^2)\}.2 \\ &= 63.363,487 + 44.877,688 + 73.038,195 \\ &= 181.249,370 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$* r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{745512}{464}} = 40,084 \text{ mm}$$

$$* r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{181249,4}{464}} = 19,76 \text{ mm}$$

Gambar pembebanan batang tekan profil C :



Badan = elemen yang “tidak diperkuat”.

Sayap = elemen yang “diperkuat”.

Pada tekanan aksial, penampang yang diperkuat (badan) dan elemen yang diperkuat (sayap). Elemen yang tidak diperkuat harus ditinjau lebih dahulu untuk menentukan tingkat tegangan efektif.

(a). Sifat penampang bruto.

$$\begin{aligned}
 A &= (3,937 \times 0,097) + 2 \cdot (1,81 \times 0,079) + 2 \cdot (0,782 \times 0,079) \\
 &= 0,7205 \text{ in}^2.
 \end{aligned}$$

(b). Elemen yang tidak diperkuat, AISC-1.9.1.2 :

$$\left[\frac{h}{t} = \frac{3,937}{0,079} = 49,835 \right] > \left[\frac{95}{\sqrt{F_y}} = 16,10 \right]$$

Jadi tekuk setempat mengurangi efisiensi; $Q_s < 1,0$:

$$\begin{aligned}
 Q_s &= 1,34 - 0,00447 (b/t) \cdot \sqrt{F_y} \\
 &= 1,34 - 0,00447 \cdot (24,911) \cdot \sqrt{(218,512 \times 0,145)} \\
 &= 0,713.
 \end{aligned}$$

(c). Elemen yang diperkuat, AISC-1.9.1.2 :

$$\left[\frac{b}{t} = \frac{1,968}{0,079} = 24,911 \right] < \left[\frac{253}{\sqrt{F_y}} = 44,947 \right]$$

Jadi $Q_a > 1,0$, Tegangan yang diperkirakan bekerja pada elemen yang diperkuat tidak ditentukan oleh tegangan elemen yang tidak diperkuat;

Coba batas atas sebesar $0,60 F_y$,

$$\begin{aligned} f &= 0,60 \cdot F_y \cdot Q_s \\ &= 0,60 \cdot 31,684 \cdot 0,713 = 13,545 \text{ ksi.} \end{aligned}$$

Rasio lebar efektif dengan ketebalan adalah :

$$\begin{aligned} \frac{bE}{t} &= \frac{253}{\sqrt{f}} \left[1 - \frac{50,3}{(b/t) \cdot \sqrt{f}} \right] \\ &= \frac{253}{\sqrt{13,545}} \left[1 - \frac{50,3}{(24,911) \cdot \sqrt{13,545}} \right] \\ &= 31,028. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{ef} &= A_{bruto} - \left(\frac{b}{t} - \frac{bE}{t} \right) t^2 \\ &= 0,7025 - (24,911 - 31,028) \cdot 0,079^2 \\ &= 0,741. \end{aligned}$$

$$Q_a = \frac{A_{efektif}}{A_{bruto}} = \frac{0,741}{0,7025} = 1,0543.$$

$$Q = Q_s \cdot Q_a = 0,713 \times 1,0543 = 0,752.$$

$$C_c' = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{Q \cdot F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{0,752 \times 218,512}} = 155,104.$$

1. Benda Uji I ($\alpha=45^\circ$) $\rightarrow L_1 = 0,6 \text{ m} = 600 \text{ mm}$.

$$\lambda_y = \frac{Lk}{r_y} = \frac{600 \times 1}{40,084} = 14,969$$

$$\lambda_x = \frac{Lk}{r_x} = \frac{600 \times 1}{19,76} = 30,36 \text{ (menentukan)}$$

$\Rightarrow \lambda < Cc'$ (Tekuk in-elastis)

2. Benda Uji II ($\alpha=50^\circ$) $\rightarrow L_2 = 0,5 \text{ m} = 50 \text{ cm}$.

$$\lambda_y = \frac{Lk}{r_y} = \frac{500 \times 1}{40,084} = 12,474$$

$$\lambda_x = \frac{Lk}{r_x} = \frac{500 \times 1}{19,76} = 25,24 \text{ (menentukan)}$$

$\Rightarrow \lambda < Cc'$ (Tekuk in-elastis)

3. Benda Uji III ($\alpha=60^\circ$) $\rightarrow L_3 = 0,375 \text{ m} = 37,5 \text{ cm}$.

$$\lambda_y = \frac{Lk}{r_y} = \frac{375 \times 1}{40,084} = 9,355$$

$$\lambda_x = \frac{Lk}{r_x} = \frac{375 \times 1}{19,76} = 18,978 \text{ (menentukan)}$$

$\Rightarrow \lambda < Cc'$ (Tekuk in-elastis)

* Profil C mengalami tekuk in-Elastis, dimana $\sigma_{ijin} = Q \cdot Fy [1 - \frac{(Lk/r)^2}{2.Cc^2}]$

$$\begin{aligned} \diamond \sigma_{ijin} \text{ Benda Uji I} &= 0,752 \times 218,512 \times [1 - \frac{(30,29)^2}{2.(155,104^2)}] \\ &= 161,864 \text{ N mm}^2. \end{aligned}$$

$$P = 161,864 \times 464 = 75.104,896 \text{ N} = 75,105 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \diamond \sigma_{ijin} \text{ Benda Uji II} &= 0,752 \times 218,512 \times [1 - \frac{(25,24)^2}{2.(155,104^2)}] \\ &= 162,145 \text{ N mm}^2. \end{aligned}$$

$$P = 162,145 \times 464 = 75.235,28 \text{ N} = 75,2353 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \diamond \sigma_{ijin} \text{ Benda Uji III} &= 0,6347 \times 218,512 \times [1 - \frac{(18,978)^2}{2.(146,609^2)}] \\ &= 163,091 \text{ N mm}^2. \end{aligned}$$

$$P = 163,091 \times 464 = 75.674,098 \text{ N} = 75,674 \text{ kN}$$

* TEGANGAN KRITIS PROFIL C HASIL PENGUJIAN

Pada hasil pengujian perilaku *buckling* terjadi pada profil C canai sisi atas. Setelah dikontrol secara teoritis belum profil C belum mengalami *buckling*, hal ini disebabkan pengekangan yang terjadi pada tumpuan sepanjang tepi elemen pembentuk profil C tidak dalam kondisi ideal, yaitu pada sayap tumpuan sederhana – bebas ($k = 0,425$) dan pada badan tumpuan sederhana – tumpuan sederhana ($k = 4$). Dalam buku “*Design of Highway Bridges Based on AASHTO LRFD, Bridge Design Specification*” hasil pengujian di laboratorium untuk sayap $k = 0,46$. Dan k untuk badan setelah dicek didapatkan kondisi tumpuan sepanjang tepi sebagai berikut :

4.1. BENDA UJI I (P = 42 kN)

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{P}{2} \cdot \frac{3}{10} \cdot L \Rightarrow M_n = \frac{P}{2} \cdot \frac{3}{10} \cdot 6 = \frac{42}{2} \cdot \frac{3}{10} \cdot 6 \\ &= 37,80 \text{ kNm.} \end{aligned}$$

$$M_n = P_{cr1} \cdot h_1 + P_{cr2} \cdot h_2$$

$$37,80 = 26,6082 \cdot 0,5 + (F_{cr} \times A_{\text{Badan}}) \cdot 0,6$$

$$37,80 = 13,3041 + (F_{cr} \times (0,1 \cdot 0,002 \cdot 1)) \cdot 0,6$$

$$24,4959 = (F_{cr} \times 0,00012)$$

$$F_{cr} = 204.132,5 \text{ kN m}^2 = 204,1325 \text{ N mm}^2.$$

$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t}\right)^2}$$

$$204,1325 = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12(1 - 0,3^2) \left(\frac{100}{2}\right)^2}$$

$$204,1325 = \frac{k \cdot 1973920,88}{27300}$$

$$k = 2,8232.$$

4.2. BENDA UJI II (P = 38,50 kN)

$$\begin{aligned} M &= \frac{P}{2} \cdot \frac{4}{12} \cdot L \Rightarrow M = \frac{P}{2} \cdot \frac{4}{12} \cdot 6 \\ &= \frac{38,50}{2} \cdot \frac{4}{12} \cdot 6 \\ &= 38,5 \text{ kNm.} \end{aligned}$$

$$Mn = P_{cr1} \cdot h_1 + P_{cr2} \cdot h_2$$

$$\begin{aligned} 38,50 &= 26,6082 \cdot 0,5 + (F_{cr} \times A_{\text{Badan}}) \cdot 0,6 \\ &= 13,3041 + (F_{cr} \times (0,1 \cdot 0,002 \cdot 1)) \cdot 0,6 \end{aligned}$$

$$25,1959 = (F_{cr} \times 0,00012)$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= 209.965,83 \text{ kN/m}^2. \\ &= 209,96583 \text{ N/mm}^2. \end{aligned}$$

$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t}\right)^2}$$

$$209,96583 = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot 2 \times 10^5}{12(1 - 0,3^2) \left(\frac{100}{2}\right)^2}$$

$$209,96583 = \frac{k \cdot 1973920,88}{27300}$$

$$k = 2,9039$$

4.3. BENDA UJI III (P = 41,25 kN)

$$\begin{aligned} M &= \frac{P}{2} \cdot \frac{5}{16} \cdot L \Rightarrow M = \frac{P}{2} \cdot \frac{5}{16} \cdot 6 \\ &= \frac{41,25}{2} \cdot \frac{5}{16} \cdot 6 \\ &= 38,672 \text{ kN.} \end{aligned}$$

$$M_n = P_{cr1} \cdot h_1 + P_{cr2} \cdot h_2$$

$$38,672 = 26,6082 \cdot 0,5 + (F_{cr} \times A_{Badan}) \cdot 0,6$$

$$38,672 = 13,3041 + (F_{cr} \times (0,1 \cdot 0,002 \cdot 1)) \cdot 0,6$$

$$25,3679 = (F_{cr} \times 0,00012)$$

$$F_{cr} = 211.399,167 \text{ kN m}^2.$$

$$= 211,399167 \text{ N/mm}^2.$$

$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{h}{l}\right)^2}$$

$$211,399167 = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot 2 \times 10^5}{12(1 - 0,3^2) \left(\frac{100}{2}\right)^2}$$

$$211,399167 = \frac{k \cdot 1973920,88}{27300}$$

$$k = 2,9237.$$

HITUNGAN P_{cr} PROFIL C BERDASARKAN KENYATAAN LAPANGAN

- ⇒ Ukuran ketebalan $t = 1,85$ mm
- ⇒ Koefisien tekuk sayap, $k = 0,46$
- ⇒ Koefisien tekuk badan rata-rata, $k = 2,8836$

$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2}$$

⇒ F_{cr} sayap

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \frac{0,46 \cdot \pi^2 \cdot 2 \times 10^5}{12(1 - 0,3^2) \left(\frac{50}{1,85}\right)^2} \\ &= 113,833 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

⇒ F_{cr} badan

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \frac{2,8836 \cdot \pi^2 \cdot 2 \times 10^5}{12(1 - 0,3^2) \left(\frac{100}{1,85}\right)^2} \\ &= 178,3962 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

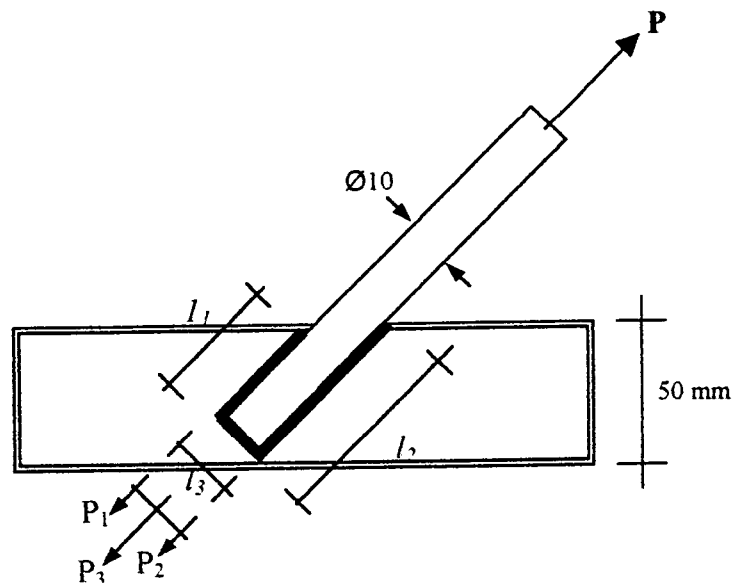
$$\begin{aligned} P_{cr} &= F_{cr} \times A_{\text{sayap}} \\ &= 113,833 \times (50 \times 1,85) \times 2 \\ &= 21059,105 \text{ N} = 21,0591 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cr} &= F_{cr} \times A_{\text{Badan}} \\ &= 178,3962 \times (100 \times 1,85) \times 1 \\ &= 33003,297 \text{ N} = 33,0033 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\sum P_{cr} = 21,0591 + 33,0033 = 54,0623 \text{ kN}$$

5. KONTROL PERHITUNGAN LAS

PPBBI dengan rumus Huber Henry :



(Gambar Sambungan las pada pelat)

Data :

- Kuat tarik pelat = 289,38 Mpa.

- Kuat tarik tulangan Ø10 = 608,931 Mpa.

- Diameter tulangan = 10 mm

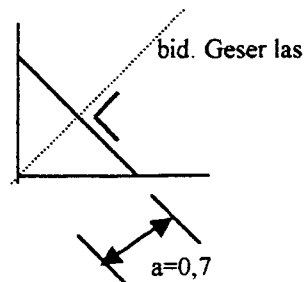
* Tegangan luluh las = 1138,393 kg/cm².

* Beban P yang terjadi (diambil beban terbesar) = 12,5 kN = 1250 kg

* Panjang las (Ln) = $l_1 + l_2 + l_3$.

$$= 6,45 + 5,31 + 1,0 = 12,76 \text{ cm.}$$

* Arah gaya sejajar bidang geser las, dengan $\alpha = 0^\circ$.



(Gambar. Bidang geser las)

$$\begin{aligned} * A &= \text{Luas penampang las} = L_n \times a \\ &= 12,76 \times 0,7 = 8,932 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk } \alpha = 0^\circ ; \quad \sigma_{ijin} &= 0,58 \times \sigma_{luluh} \\ &= 0,58 \times 1138,393 \\ &= 660,268 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

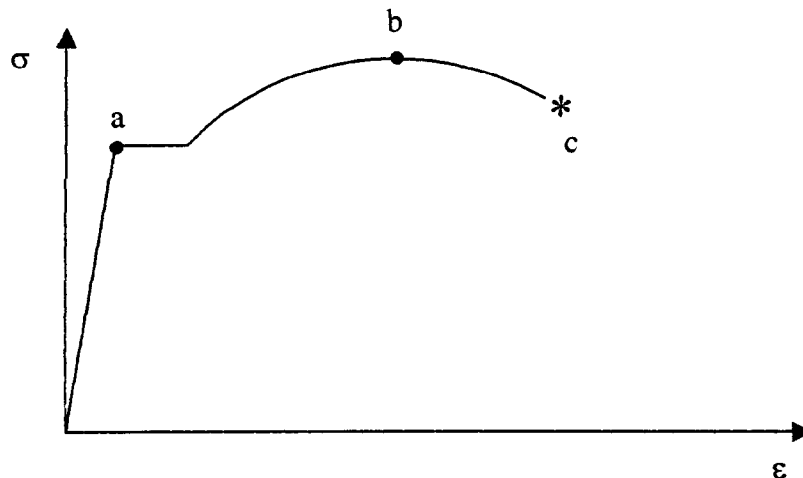
$$\begin{aligned} P_{ijin \text{ las}} &= \sigma_{ijin} \times A \\ &= 660,268 \times 8,932 \\ &= 5897,5125 \text{ kg} > P_{\text{yang terjadi}} = 1250 \text{ kg}. \end{aligned}$$

(Aman).

6. HASIL UJI PENDAHULUAN

Pengujian ini merupakan uji terhadap kekuatan tarik bahan profil C100x50x20x2 dan kekuatan tarik tulangan $\varnothing 10$ mm serta pengujian terhadap kekuatan geser las. Pengujian dilakukan di laboratorium Teknik Sipil UII Yogyakarta pada tanggal 01 Maret 2002. Adapun hasil uji pendahuluan adalah sebagai berikut :

1. Hasil pengujian profil C100x50x20x2.



- Beban luluh (a) = 780 kg.
- Beban maksimum (b) = 1060 kg.
- Beban patah (c) = 780 kg.

Perhitungan :

$$\text{Lebar } (l) = 2,62 \text{ cm.}$$

$$\text{Tebal } (t) = 0,185 \text{ cm}$$

$$A_0 = l \times t = 0,4851 \text{ cm}^2.$$

$$\begin{aligned}
 *) \text{Kuat tarik baja} &= \frac{\text{BebanMaksimum}}{A_o} \\
 &= \frac{1060}{0,4851} \\
 &= 2185,116 \text{ kg/cm}^2 = 218,512 \text{ Mpa.}
 \end{aligned}$$

Kapasitas tarik profil C 100x50x2 dengan $A = 4,64 \text{ cm}^2$ adalah :

$$\begin{aligned}
 P_{ijin} &= 2185,116 \times 4,64 \\
 &= 10.138,941 \text{ kg} \\
 &= 101,389 \text{ kN.}
 \end{aligned}$$

2. Hasil pengujian tulangan Ø10.

- Beban luluh (a) = 3050 kg.
- Beban maksimum (b) = 4500 kg.
- Beban patah (c) = 3880 kg.

Perhitungan :

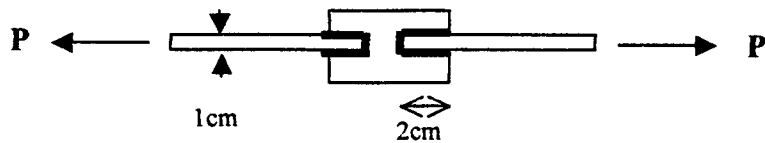
$$\text{Diameter } (d) = 0,97 \text{ cm.}$$

$$A_o = 1/4 \times \pi \times d^2 = 0,739 \text{ cm}^2.$$

$$\begin{aligned}
 *) \text{Kuat tarik baja} &= \frac{\text{BebanMaksimum}}{A_o} \\
 &= \frac{4500}{0,739} \\
 &= 6089,31 \text{ kg/cm}^2 = 608,931 \text{ Mpa.}
 \end{aligned}$$

3. Hasil pengujian geser las

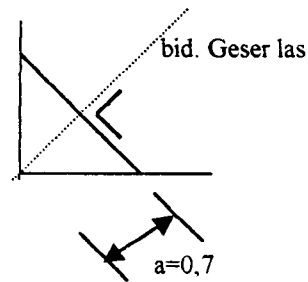
Hasil laboratorium menunjukkan kekuatan geser las untuk beban maksimum = 2550 kg.



Kekuatan las :

$$Ln = 2,2 + 2,2 + 0,4 = 4,8 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{ijin \text{ las}} &= \frac{P}{Lnxa} \\ &= \frac{2550}{4,8 \times 0,7} \\ &= 758,929 \text{ kg/cm}^2.\end{aligned}$$



Gb. Bidang geser las

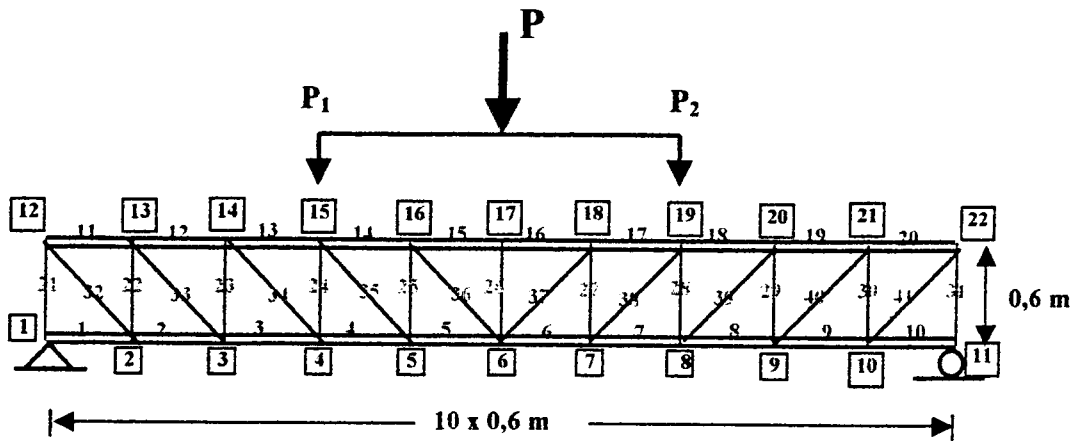
$$\begin{aligned}\sigma_{tuluh \text{ las}} &= 758,929 \times 1,5 \\ &= 1138,393 \text{ kg/cm}^2 = 113,893 \text{ Mpa.}\end{aligned}$$

*** Dari ketiga uji pendahuluan tersebut dapat diketahui :**

| No | Jenis Pengujian | Fy (Mpa) |
|----|--|----------|
| 1. | Kuat tarik Pelat | 218,512 |
| 2. | Kuat tarik baja tulangan \varnothing 10 mm | 608,931 |
| 3. | Kuat Geser Las | 113,893 |

ANALISIS SAP90 BEBAN RENCANA

* BENDA UJI I



STRUKTUR CANAI
SYSTEM
L=1

JOINT

| | | | | |
|----|-----|-----|-------|-------------|
| 1 | X=0 | Y=0 | Z=0 | |
| 11 | X=6 | Y=0 | Z=0 | G=1, 11, 1 |
| 12 | X=0 | Y=0 | Z=0.6 | |
| 22 | X=6 | Y=0 | Z=0.6 | G=12, 22, 1 |

RESTRAINTS

| | |
|----------|--------------------|
| 1, 22, 1 | R=0, 1, 0, 1, 0, 1 |
| 1 | R=1, 1, 1, 1, 0, 1 |
| 11 | R=0, 1, 1, 1, 0, 1 |

FRAME

NM=3

C MATERIAL OF PROPERTI

| | | | |
|---|------|---------------------------|-------|
| 1 | SH=C | T=0.05, 0.1, 0.002, 0.002 | E=2E8 |
| 2 | SH=P | T=0.038, 0 | |
| 3 | SH=P | T=0.020, 0 | |

C ELEMENT

| | | | |
|------------|-----|---------------|----------|
| 1, 1, 2 | M=1 | G=9, 1, 1, 1 | LP=-2, 0 |
| 11, 12, 13 | M=1 | G=9, 1, 1, 1 | |
| 21, 1, 12 | M=2 | G=10, 1, 1, 1 | |
| 32, 2, 12 | M=3 | G=4, 1, 1, 1 | |
| 37, 6, 18 | M=3 | G=4, 1, 1, 1 | |

LOADS

| | |
|----|-----------------|
| 15 | F=0, 0, -22.829 |
| 19 | F=0, 0, -22.829 |

STRUKTUR CANAI

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

| JOINT | U(X) | U(Z) | R(Y) |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 0.000000 | 0.000000 | 0.005564 |
| 2 | 0.000003 | -0.003551 | 0.005555 |
| 3 | 0.000143 | -0.006833 | 0.004891 |
| 4 | 0.000422 | -0.009545 | 0.003281 |
| 5 | 0.000835 | -0.010862 | 0.001372 |
| 6 | 0.001251 | -0.011276 | 0.000000 |
| 7 | 0.001666 | -0.010862 | -0.001372 |
| 8 | 0.002080 | -0.009545 | -0.003281 |
| 9 | 0.002359 | -0.006833 | -0.004891 |
| 10 | 0.002499 | -0.003551 | -0.005555 |
| 11 | 0.002502 | 0.000000 | -0.005564 |
| 12 | 0.002904 | -0.000059 | 0.005557 |
| 13 | 0.002768 | -0.003609 | 0.005549 |
| 14 | 0.002493 | -0.006891 | 0.004901 |
| 15 | 0.002082 | -0.009604 | 0.003218 |
| 16 | 0.001666 | -0.010863 | 0.001316 |
| 17 | 0.001251 | -0.011276 | 0.000000 |
| 18 | 0.000836 | -0.010863 | -0.001316 |
| 19 | 0.000420 | -0.009604 | -0.003218 |
| 20 | 0.000009 | -0.006891 | -0.004901 |
| 21 | -0.000266 | -0.003609 | -0.005549 |
| 22 | -0.000403 | -0.000059 | -0.005557 |

STRUKTUR CANAI

R E A C T I O N S A N D A P P L I E D F O R C E S

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

| JOINT | F(X) | F(Z) | M(Y) |
|-------|------------|------------|------------|
| 1 | 0.0000 | 22.8290 | 0.0000 |
| 2 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 3 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 5 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 6 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 7 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 8 | 0.0000E+00 | 0.1087E-11 | 0.0000E+00 |
| 9 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 10 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 11 | 0.0000 | 22.8290 | 0.0000 |
| 12 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 13 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 14 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 15 | 0.0000 | -22.8290 | 0.0000 |
| 16 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 17 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 18 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 19 | 0.0000 | -22.8290 | 0.0000 |
| 20 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 21 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 22 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TOTAL | 0.1639E-14 | 0.1066E-13 | 0.8161E-14 |

```

          $$$$$$          $$$$$$$$          $$$$$$          $$$$$$$$          $$$$$$
        $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$
      $$                $$                $$                $$                $$
    $$$                $$$                $$$                $$$                $$$
  $$$$$$$$$$          $$$$$$$$$$          $$$$$$$$$$          $$$$$$$$$$          $$$$$$$$$$
    $$                $$                $$                $$                $$
  $$$                $$$                $$$                $$$                $$$
$$$$$$$$$$$$          $$$$$$$$$$          $$$$$$$$$$          $$$$$$$$$$          $$$$$$$$$$
  $$$                $$$                $$$                $$$                $$$
$$$$$$$$$$$$          $$$$$$$$$$          $$$$$$$$$$          $$$$$$$$$$          $$$$$$$$$$
  $$$                $$$                $$$                $$$                $$$

```

STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS

VERSION P5.40

Copyright (C) 1978-1992
 EDWARD L. WILSON
 All rights reserved

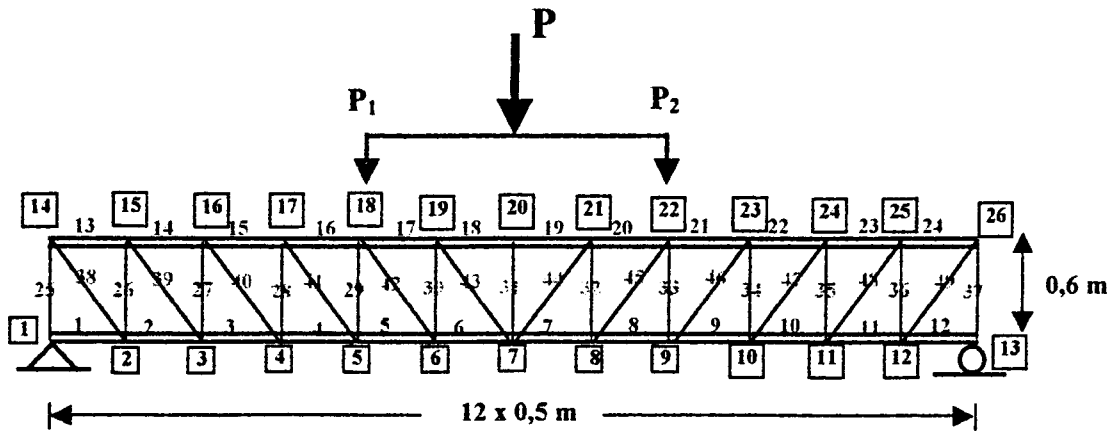
STRUKTUR CANAI

FRAME ELEMENT FORCES

| ELT ID | LOAD COND | DIST ENDI | 1-2 PLANE SHEAR | MOMENT | AXIAL FORCE |
|--------|-----------|-----------|-----------------|--------|-------------|
| ----- | | | | | |
| 1 | 1 | 0.000 | | | 0.483 |
| | | 0.000 | 0.487 | -0.145 | |
| | | 0.600 | 0.487 | 0.147 | |
| | | 0.600 | | | 0.483 |
| ----- | | | | | |
| 2 | 1 | 0.000 | | | 22.974 |
| | | 0.000 | 0.336 | -0.046 | |
| | | 0.600 | 0.336 | 0.155 | |
| | | 0.600 | | | 22.974 |
| ----- | | | | | |
| 3 | 1 | 0.000 | | | 45.807 |
| | | 0.000 | 0.589 | -0.044 | |
| | | 0.600 | 0.589 | 0.309 | |
| | | 0.600 | | | 45.807 |
| ----- | | | | | |
| 4 | 1 | 0.000 | | | 67.750 |
| | | 0.000 | -0.179 | 0.211 | |
| | | 0.600 | -0.179 | 0.103 | |
| | | 0.600 | | | 67.750 |
| ----- | | | | | |
| 5 | 1 | 0.000 | | | 68.140 |
| | | 0.000 | 0.007 | 0.111 | |
| | | 0.600 | 0.007 | 0.115 | |
| | | 0.600 | | | 68.140 |
| ----- | | | | | |
| 6 | 1 | 0.000 | | | 68.140 |
| | | 0.000 | -0.007 | 0.115 | |
| | | 0.600 | -0.007 | 0.111 | |
| | | 0.600 | | | 68.140 |
| ----- | | | | | |
| 7 | 1 | 0.000 | | | 67.750 |
| | | 0.000 | 0.179 | 0.103 | |
| | | 0.600 | 0.179 | 0.211 | |
| | | 0.600 | | | 67.750 |
| ----- | | | | | |
| 8 | 1 | 0.000 | | | 45.807 |
| | | 0.000 | -0.589 | 0.309 | |
| | | 0.600 | -0.589 | -0.044 | |
| | | 0.600 | | | 45.807 |
| ----- | | | | | |
| 9 | 1 | 0.000 | | | 22.974 |
| | | 0.000 | -0.336 | 0.155 | |
| | | 0.600 | -0.336 | -0.046 | |
| | | 0.600 | | | 22.974 |

| | | | | | |
|-------|---|-------|--------|--------|---------|
| ----- | | | | | |
| 10 | 1 | 0.000 | | | 0.483 |
| | | 0.000 | -0.487 | 0.147 | |
| | | 0.600 | -0.487 | -0.145 | |
| | | 0.600 | | | 0.483 |
| ----- | | | | | |
| 11 | 1 | 0.000 | | | -22.341 |
| | | 0.000 | 0.493 | -0.147 | |
| | | 0.600 | 0.493 | 0.149 | |
| | | 0.600 | | | -22.341 |
| ----- | | | | | |
| 12 | 1 | 0.000 | | | -45.149 |
| | | 0.000 | 0.332 | -0.046 | |
| | | 0.600 | 0.332 | 0.153 | |
| | | 0.600 | | | -45.149 |
| ----- | | | | | |
| 13 | 1 | 0.000 | | | -67.425 |
| | | 0.000 | 0.627 | -0.050 | |
| | | 0.600 | 0.627 | 0.327 | |
| | | 0.600 | | | -67.425 |
| ----- | | | | | |
| 14 | 1 | 0.000 | | | -68.167 |
| | | 0.000 | -0.230 | 0.226 | |
| | | 0.600 | -0.230 | 0.097 | |
| | | 0.600 | | | -68.167 |
| ----- | | | | | |
| 15 | 1 | 0.000 | | | -68.089 |
| | | 0.000 | 0.043 | 0.095 | |
| | | 0.600 | 0.043 | 0.121 | |
| | | 0.600 | | | -68.089 |
| ----- | | | | | |
| 16 | 1 | 0.000 | | | -68.089 |
| | | 0.000 | -0.043 | 0.121 | |
| | | 0.600 | -0.043 | 0.095 | |
| | | 0.600 | | | -68.089 |
| ----- | | | | | |
| 17 | 1 | 0.000 | | | -68.167 |
| | | 0.000 | 0.230 | 0.087 | |
| | | 0.600 | 0.230 | 0.226 | |
| | | 0.600 | | | -68.167 |
| ----- | | | | | |
| 18 | 1 | 0.000 | | | -67.425 |
| | | 0.000 | -0.627 | 0.327 | |
| | | 0.600 | -0.627 | -0.050 | |
| | | 0.600 | | | -67.425 |
| ----- | | | | | |
| 19 | 1 | 0.000 | | | -45.149 |
| | | 0.000 | -0.332 | 0.153 | |
| | | 0.600 | -0.332 | -0.046 | |
| | | 0.600 | | | -45.149 |

BENDA UJI II



STRUKTUR CANAI
SYSTEM
L=1

JOINT

| | | | | |
|----|-----|-----|-------|-------------|
| 1 | X=0 | Y=0 | Z=0 | |
| 13 | X=6 | Y=0 | Z=0 | G=1, 13, 1 |
| 14 | X=0 | Y=0 | Z=0.6 | |
| 26 | X=6 | Y=0 | Z=0.6 | G=14, 26, 1 |

RESTRAINTS

| | |
|----------|--------------------|
| 1, 26, 1 | R=0, 1, 0, 1, 0, 1 |
| 1 | R=1, 1, 1, 1, 0, 1 |
| 13 | R=0, 1, 1, 1, 0, 1 |

FRAME

NM=3

C MATERIAL OF PROPERTI

| | | | |
|---|------|---------------------------|-------|
| 1 | SH=C | T=0.05, 0.1, 0.002, 0.002 | E=2E8 |
| 2 | SH=P | T=0.038, 0 | |
| 3 | SH=P | T=0.020, 0 | |

C ELEMENT

| | | | |
|------------|-----|---------------|----------|
| 1, 1, 2 | M=1 | G=11, 1, 1, 1 | LP=-2, 0 |
| 13, 14, 15 | M=1 | G=11, 1, 1, 1 | |
| 25, 1, 14 | M=2 | G=12, 1, 1, 1 | |
| 38, 2, 14 | M=3 | G=5, 1, 1, 1 | |
| 44, 7, 21 | M=3 | G=5, 1, 1, 1 | |

LOADS

| | |
|----|-----------------|
| 18 | F=0, 0, -20.546 |
| 22 | F=0, 0, -20.546 |

STRUKTUR CANAI

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

| JOINT | U(X) | U(Z) | R(Y) |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 0.000000 | 0.000000 | 0.005246 |
| 2 | 0.000002 | -0.002768 | 0.005281 |
| 3 | 0.000090 | -0.005397 | 0.004821 |
| 4 | 0.000264 | -0.007738 | 0.004148 |
| 5 | 0.000526 | -0.009634 | 0.002757 |
| 6 | 0.000870 | -0.010562 | 0.001158 |
| 7 | 0.001216 | -0.010850 | 0.000000 |
| 8 | 0.001562 | -0.010562 | -0.001158 |
| 9 | 0.001907 | -0.009634 | -0.002757 |
| 10 | 0.002168 | -0.007738 | -0.004148 |
| 11 | 0.002342 | -0.005397 | -0.004821 |
| 12 | 0.002430 | -0.002768 | -0.005281 |
| 13 | 0.002432 | 0.000000 | -0.005246 |
| 14 | 0.002766 | -0.000053 | 0.005234 |
| 15 | 0.002681 | -0.002820 | 0.005281 |
| 16 | 0.002510 | -0.005449 | 0.004816 |
| 17 | 0.002251 | -0.007790 | 0.004157 |
| 18 | 0.001908 | -0.009687 | 0.002694 |
| 19 | 0.001562 | -0.010563 | 0.001099 |
| 20 | 0.001216 | -0.010850 | 0.000000 |
| 21 | 0.000870 | -0.010563 | -0.001099 |
| 22 | 0.000524 | -0.009687 | -0.002694 |
| 23 | 0.000181 | -0.007790 | -0.004157 |
| 24 | -0.000078 | -0.005449 | -0.004816 |
| 25 | -0.000249 | -0.002820 | -0.005281 |
| 26 | -0.000334 | -0.000053 | -0.005234 |

STRUKTUR CANAI

R E A C T I O N S A N D A P P L I E D F O R C E S

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

| JOINT | F(X) | F(Z) | M(Y) |
|-------|-------------|------------|------------|
| 1 | 0.0000 | 20.5460 | 0.0000 |
| 2 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 3 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 5 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 6 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 7 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 8 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 9 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 10 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 11 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 12 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 13 | 0.0000 | 20.5460 | 0.0000 |
| 14 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 15 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 16 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 17 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 18 | 0.0000 | -20.5460 | 0.0000 |
| 19 | 0.0000E+00 | 0.1451E-11 | 0.0000E+00 |
| 20 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 21 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 22 | 0.0000 | -20.5460 | 0.0000 |
| 23 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 24 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 25 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 26 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TOTAL | -0.5262E-14 | 0.7105E-14 | 0.2212E-13 |

```

          $$$$$$$ $$$$$$$$$ $$$$$$$ $$$$$$$$$ $$$$$$$$$
        $$$$$$$$$ $$$$$$$$$ $$$$$$$$$ $$$$$$$$$ $$$$$$$$$
      $$          $$          $$          $$          $$          $$
    $$$$$$$$$ $$$$$$$$$ $$$$$$$$$ $$$$$$$$$ $$$$$$$$$ $$$$$$$$$
  $$          $$          $$          $$          $$          $$
 $$$$$$$$$ $$$$$$$$$ $$$$$$$$$ $$$$$$$$$ $$$$$$$$$ $$$$$$$$$
$$$$$$$$ $$$$$$$$$ $$$$$$$$$ $$$$$$$$$ $$$$$$$$$ $$$$$$$$$

```

STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS

VERSION P5.40

Copyright (C) 1978-1992

EDWARD L. WILSON

All rights reserved

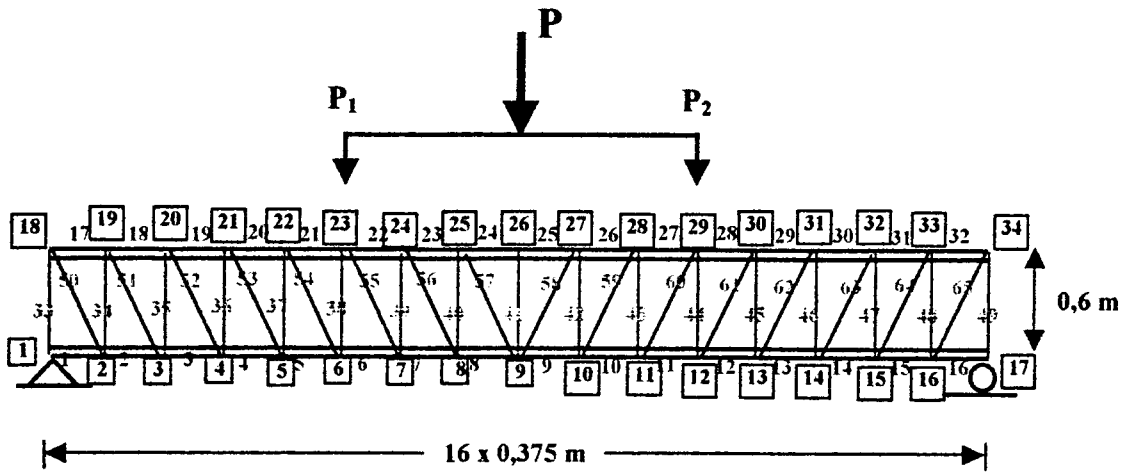
STRUKTUR CANAI

FRAME ELEMENT FORCES

| ELT ID | LOAD COND | DIST ENDI | 1-2 PLANE | | AXIAL FORCE | | | | | | |
|--------|-----------|-----------|-----------|--------|-------------|----|---|-------|--------|--------|---------|
| | | | SHEAR | MOMENT | | | | | | | |
| ----- | | | | | | 10 | 1 | 0.000 | | | 34.311 |
| | | | | | | | | 0.000 | -0.360 | 0.156 | |
| | | | | | | | | 0.500 | -0.360 | -0.023 | |
| | | | | | | | | 0.500 | | | 34.311 |
| ----- | | | | | | 11 | 1 | 0.000 | | | 17.274 |
| | | | | | | | | 0.000 | -0.373 | 0.139 | |
| | | | | | | | | 0.500 | -0.373 | -0.048 | |
| | | | | | | | | 0.500 | | | 17.274 |
| ----- | | | | | | 12 | 1 | 0.000 | | | 0.423 |
| | | | | | | | | 0.000 | -0.495 | 0.120 | |
| | | | | | | | | 0.500 | -0.495 | -0.127 | |
| | | | | | | | | 0.500 | | | 0.423 |
| ----- | | | | | | 13 | 1 | 0.000 | | | -16.726 |
| | | | | | | | | 0.000 | 0.502 | -0.130 | |
| | | | | | | | | 0.500 | 0.502 | 0.121 | |
| | | | | | | | | 0.500 | | | -16.726 |
| ----- | | | | | | 14 | 1 | 0.000 | | | -33.784 |
| | | | | | | | | 0.000 | 0.380 | -0.049 | |
| | | | | | | | | 0.500 | 0.380 | 0.141 | |
| | | | | | | | | 0.500 | | | -33.784 |
| ----- | | | | | | 15 | 1 | 0.000 | | | -50.855 |
| | | | | | | | | 0.000 | 0.353 | -0.023 | |
| | | | | | | | | 0.500 | 0.353 | 0.153 | |
| | | | | | | | | 0.500 | | | -50.855 |
| ----- | | | | | | 16 | 1 | 0.000 | | | -67.483 |
| | | | | | | | | 0.000 | 0.667 | -0.022 | |
| | | | | | | | | 0.500 | 0.667 | 0.311 | |
| | | | | | | | | 0.500 | | | -67.483 |
| ----- | | | | | | 17 | 1 | 0.000 | | | -68.146 |
| | | | | | | | | 0.000 | -0.263 | 0.223 | |
| | | | | | | | | 0.500 | -0.263 | 0.092 | |
| | | | | | | | | 0.500 | | | -68.146 |
| ----- | | | | | | 18 | 1 | 0.000 | | | -68.094 |
| | | | | | | | | 0.000 | 0.046 | 0.097 | |
| | | | | | | | | 0.500 | 0.046 | 0.120 | |
| | | | | | | | | 0.500 | | | -68.094 |
| ----- | | | | | | 19 | 1 | 0.000 | | | -68.094 |
| | | | | | | | | 0.000 | -0.046 | 0.120 | |
| | | | | | | | | 0.500 | -0.046 | 0.097 | |
| | | | | | | | | 0.500 | | | -68.094 |

| | | | | |
|---|-------|-------|--------|--------|
| 1 | 0.000 | | | 25.455 |
| | 0.000 | 0.010 | -0.004 | |
| | 0.781 | 0.010 | 0.004 | |
| | 0.781 | | | 25.455 |

BENDA UJI III



STRUKTUR CANAI
SYSTEM
L=1

JOINT

| | | | | |
|----|-----|-----|-------|-------------|
| 1 | X=0 | Y=0 | Z=0 | |
| 17 | X=6 | Y=0 | Z=0 | G=1, 17, 1 |
| 18 | X=0 | Y=0 | Z=0.6 | |
| 34 | X=6 | Y=0 | Z=0.6 | G=18, 34, 1 |

RESTRAINTS

| | |
|----------|--------------------|
| 1, 34, 1 | R=0, 1, 0, 1, 0, 1 |
| 1 | R=1, 1, 1, 1, 0, 1 |
| 17 | R=0, 1, 1, 1, 0, 1 |

FRAME

NM=3

C MATERIAL OF PROPERTI

| | | | |
|---|------|---------------------------|-------|
| 1 | SH=C | T=0.05, 0.1, 0.002, 0.002 | E=2E8 |
| 2 | SH=P | T=0.038, 0 | |
| 3 | SH=P | T=0.020, 0 | |

C ELEMENT

| | | | |
|------------|-----|---------------|----------|
| 1, 1, 2 | M=1 | G=15, 1, 1, 1 | LP=-2, 0 |
| 17, 18, 19 | M=1 | G=15, 1, 1, 1 | |
| 33, 1, 18 | M=2 | G=16, 1, 1, 1 | |
| 50, 2, 18 | M=3 | G=7, 1, 1, 1 | |
| 58, 9, 27 | M=3 | G=7, 1, 1, 1 | |

LOADS

| | |
|----|------------------|
| 23 | F=0, 0, -21.9155 |
| 29 | F=0, 0, -21.9155 |

STRUKTUR CANAI

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

| JOINT | U(X) | U(Z) | R(Y) |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 0.000000 | 0.000000 | 0.005462 |
| 2 | 0.000002 | -0.002159 | 0.005540 |
| 3 | 0.000055 | -0.004258 | 0.005265 |
| 4 | 0.000160 | -0.006226 | 0.004833 |
| 5 | 0.000316 | -0.008001 | 0.004257 |
| 6 | 0.000525 | -0.009502 | 0.003095 |
| 7 | 0.000783 | -0.010380 | 0.001767 |
| 8 | 0.001043 | -0.010868 | 0.000864 |
| 9 | 0.001302 | -0.011030 | 0.000000 |
| 10 | 0.001562 | -0.010868 | -0.000864 |
| 11 | 0.001822 | -0.010380 | -0.001767 |
| 12 | 0.002080 | -0.009502 | -0.003095 |
| 13 | 0.002288 | -0.008001 | -0.004257 |
| 14 | 0.002445 | -0.006226 | -0.004833 |
| 15 | 0.002550 | -0.004258 | -0.005265 |
| 16 | 0.002603 | -0.002159 | -0.005540 |
| 17 | 0.002605 | 0.000000 | -0.005462 |
| 18 | 0.002853 | -0.000056 | 0.005443 |
| 19 | 0.002802 | -0.002214 | 0.005540 |
| 20 | 0.002699 | -0.004313 | 0.005265 |
| 21 | 0.002545 | -0.006281 | 0.004828 |
| 22 | 0.002338 | -0.008056 | 0.004268 |
| 23 | 0.002081 | -0.009558 | 0.003016 |
| 24 | 0.001822 | -0.010381 | 0.001685 |
| 25 | 0.001562 | -0.010867 | 0.000869 |
| 26 | 0.001302 | -0.011030 | 0.000000 |
| 27 | 0.001043 | -0.010867 | -0.000869 |
| 28 | 0.000783 | -0.010381 | -0.001685 |
| 29 | 0.000524 | -0.009558 | -0.003016 |
| 30 | 0.000267 | -0.008056 | -0.004268 |
| 31 | 0.000060 | -0.006281 | -0.004828 |
| 32 | -0.000094 | -0.004313 | -0.005265 |
| 33 | -0.000197 | -0.002214 | -0.005540 |
| 34 | -0.000248 | -0.000056 | -0.005443 |

STRUKTUR CANAI

REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

| JOINT | F(X) | F(Z) | M(Y) |
|-------|-------------|-------------|------------|
| 1 | 0.0000 | 21.9155 | 0.0000 |
| 2 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 3 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 5 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 6 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 7 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 8 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 9 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 10 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 11 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 12 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 13 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 14 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 15 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 16 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 17 | 0.0000 | 21.9155 | 0.0000 |
| 18 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 19 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 20 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 21 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 22 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 23 | 0.0000 | -21.9155 | 0.0000 |
| 24 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 25 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 26 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 27 | 0.0000E+00 | -0.1117E-11 | 0.0000E+00 |
| 28 | 0.0000E+00 | -0.1031E-11 | 0.0000E+00 |
| 29 | 0.0000 | -21.9155 | 0.0000 |
| 30 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 31 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 32 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 33 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 34 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TOTAL | -0.2489E-13 | 0.1812E-12 | 0.3022E-13 |

```

$$$$$$$$  $$$$$$$$$  $$$$$$$$  $$$$$$$$$  $$$$$$$$
$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$
$$          $$          $$          $$          $$          $$
$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$
$$          $$          $$          $$          $$          $$
$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$
$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$
$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$
$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$

```

STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS

VERSION P5.40

Copyright (C) 1978-1992
 EDWARD L. WILSON
 All rights reserved

STRUKTUR CANAL

FRAME ELEMENT FORCES

| ELT ID | LOAD COND | DIST ENDI | 1-2 PLANE SHEAR | MOMENT | AXIAL FORCE |
|--------|-----------|-----------|-----------------|--------|-------------|
| ----- | | | | | |
| 1 | 1 | 0.000 | | | 0.469 |
| | | 0.000 | 0.698 | -0.141 | |
| | | 0.375 | 0.698 | 0.121 | |
| | | 0.375 | | | 0.469 |
| ----- | | | | | |
| 2 | 1 | 0.000 | | | 13.893 |
| | | 0.000 | 0.526 | -0.062 | |
| | | 0.375 | 0.526 | 0.135 | |
| | | 0.375 | | | 13.893 |
| ----- | | | | | |
| 3 | 1 | 0.000 | | | 27.532 |
| | | 0.000 | 0.544 | -0.045 | |
| | | 0.375 | 0.544 | 0.159 | |
| | | 0.375 | | | 27.532 |
| ----- | | | | | |
| 4 | 1 | 0.000 | | | 41.144 |
| | | 0.000 | 0.514 | -0.020 | |
| | | 0.375 | 0.514 | 0.172 | |
| | | 0.375 | | | 41.144 |
| ----- | | | | | |
| 5 | 1 | 0.000 | | | 54.834 |
| | | 0.000 | 0.890 | -0.014 | |
| | | 0.375 | 0.890 | 0.320 | |
| | | 0.375 | | | 54.834 |
| ----- | | | | | |
| 6 | 1 | 0.000 | | | 67.684 |
| | | 0.000 | -0.246 | 0.221 | |
| | | 0.375 | -0.246 | 0.129 | |
| | | 0.375 | | | 67.684 |
| ----- | | | | | |
| 7 | 1 | 0.000 | | | 68.110 |
| | | 0.000 | -0.041 | 0.126 | |
| | | 0.375 | -0.041 | 0.111 | |
| | | 0.375 | | | 68.110 |
| ----- | | | | | |
| 8 | 1 | 0.000 | | | 68.102 |
| | | 0.000 | 0.001 | 0.113 | |
| | | 0.375 | 0.001 | 0.114 | |
| | | 0.375 | | | 68.102 |
| ----- | | | | | |
| 9 | 1 | 0.000 | | | 68.102 |
| | | 0.000 | -0.001 | 0.114 | |
| | | 0.375 | -0.001 | 0.113 | |
| | | 0.375 | | | 68.102 |

| | | | | | |
|-------|---|-------|--------|--------|---------|
| ----- | | | | | |
| 10 | 1 | 0.000 | | | 68.110 |
| | | 0.000 | 0.041 | 0.111 | |
| | | 0.375 | 0.041 | 0.126 | |
| | | 0.375 | | | 68.110 |
| ----- | | | | | |
| 11 | 1 | 0.000 | | | 67.684 |
| | | 0.000 | 0.246 | 0.129 | |
| | | 0.375 | 0.246 | 0.221 | |
| | | 0.375 | | | 67.684 |
| ----- | | | | | |
| 12 | 1 | 0.000 | | | 54.834 |
| | | 0.000 | -0.890 | 0.320 | |
| | | 0.375 | -0.890 | -0.014 | |
| | | 0.375 | | | 54.834 |
| ----- | | | | | |
| 13 | 1 | 0.000 | | | 41.144 |
| | | 0.000 | -0.514 | 0.172 | |
| | | 0.375 | -0.514 | -0.020 | |
| | | 0.375 | | | 41.144 |
| ----- | | | | | |
| 14 | 1 | 0.000 | | | 27.532 |
| | | 0.000 | -0.544 | 0.159 | |
| | | 0.375 | -0.544 | -0.045 | |
| | | 0.375 | | | 27.532 |
| ----- | | | | | |
| 15 | 1 | 0.000 | | | 13.893 |
| | | 0.000 | -0.526 | 0.135 | |
| | | 0.375 | -0.526 | -0.062 | |
| | | 0.375 | | | 13.893 |
| ----- | | | | | |
| 16 | 1 | 0.000 | | | 0.469 |
| | | 0.000 | -0.698 | 0.121 | |
| | | 0.375 | -0.698 | -0.141 | |
| | | 0.375 | | | 0.469 |
| ----- | | | | | |
| 17 | 1 | 0.000 | | | -13.306 |
| | | 0.000 | 0.714 | -0.147 | |
| | | 0.375 | 0.714 | 0.121 | |
| | | 0.375 | | | -13.306 |
| ----- | | | | | |
| 18 | 1 | 0.000 | | | -26.956 |
| | | 0.000 | 0.530 | -0.063 | |
| | | 0.375 | 0.530 | 0.135 | |
| | | 0.375 | | | -26.956 |
| ----- | | | | | |
| 19 | 1 | 0.000 | | | -40.569 |
| | | 0.000 | 0.552 | -0.046 | |
| | | 0.375 | 0.552 | 0.161 | |
| | | 0.375 | | | -40.569 |

| | | | | | |
|----|---|-------|--------|--------|---------|
| 20 | 1 | 0.000 | | | -54.234 |
| | | 0.000 | 0.500 | -0.020 | |
| | | 0.375 | 0.500 | 0.167 | |
| | | 0.375 | | | -54.234 |
| 21 | 1 | 0.000 | | | -67.373 |
| | | 0.000 | 0.993 | -0.021 | |
| | | 0.375 | 0.993 | 0.351 | |
| | | 0.375 | | | -67.373 |
| 22 | 1 | 0.000 | | | -68.113 |
| | | 0.000 | -0.425 | 0.255 | |
| | | 0.375 | -0.425 | 0.095 | |
| | | 0.375 | | | -68.113 |
| 23 | 1 | 0.000 | | | -68.101 |
| | | 0.000 | 0.053 | 0.097 | |
| | | 0.375 | 0.053 | 0.117 | |
| | | 0.375 | | | -68.101 |
| 24 | 1 | 0.000 | | | -68.104 |
| | | 0.000 | -0.004 | 0.115 | |
| | | 0.375 | -0.004 | 0.114 | |
| | | 0.375 | | | -68.104 |
| 25 | 1 | 0.000 | | | -68.104 |
| | | 0.000 | 0.004 | 0.114 | |
| | | 0.375 | 0.004 | 0.115 | |
| | | 0.375 | | | -68.104 |
| 26 | 1 | 0.000 | | | -68.101 |
| | | 0.000 | -0.053 | 0.117 | |
| | | 0.375 | -0.053 | 0.097 | |
| | | 0.375 | | | -68.101 |
| 27 | 1 | 0.000 | | | -68.113 |
| | | 0.000 | 0.425 | 0.095 | |
| | | 0.375 | 0.425 | 0.255 | |
| | | 0.375 | | | -68.113 |
| 28 | 1 | 0.000 | | | -67.373 |
| | | 0.000 | -0.993 | 0.351 | |
| | | 0.375 | -0.993 | -0.021 | |
| | | 0.375 | | | -67.373 |
| 29 | 1 | 0.000 | | | -54.234 |
| | | 0.000 | -0.500 | 0.167 | |
| | | 0.375 | -0.500 | -0.020 | |
| | | 0.375 | | | -54.234 |
| 30 | 1 | 0.000 | | | -40.569 |
| | | 0.000 | -0.552 | 0.161 | |
| | | 0.375 | -0.552 | -0.046 | |
| | | 0.375 | | | -40.569 |
| 31 | 1 | 0.000 | | | -26.956 |
| | | 0.000 | -0.530 | 0.135 | |
| | | 0.375 | -0.530 | -0.063 | |
| | | 0.375 | | | -26.956 |
| 32 | 1 | 0.000 | | | -13.306 |
| | | 0.000 | -0.714 | 0.121 | |
| | | 0.375 | -0.714 | -0.147 | |
| | | 0.375 | | | -13.306 |
| 33 | 1 | 0.000 | | | -21.217 |
| | | 0.000 | -0.469 | 0.141 | |
| | | 0.600 | -0.469 | -0.140 | |
| | | 0.600 | | | -21.217 |
| 34 | 1 | 0.000 | | | -20.676 |
| | | 0.000 | -0.587 | 0.176 | |

| | | | | | |
|----|---|-------|--------|--------|---------|
| | | 0.600 | -0.587 | -0.176 | |
| | | 0.600 | | | -20.676 |
| 35 | 1 | 0.000 | | | -20.841 |
| | | 0.000 | -0.576 | 0.173 | |
| | | 0.600 | -0.576 | -0.173 | |
| | | 0.600 | | | -20.841 |
| 36 | 1 | 0.000 | | | -20.849 |
| | | 0.000 | -0.575 | 0.173 | |
| | | 0.600 | -0.575 | -0.172 | |
| | | 0.600 | | | -20.849 |
| 37 | 1 | 0.000 | | | -20.526 |
| | | 0.000 | -0.600 | 0.180 | |
| | | 0.600 | -0.600 | -0.180 | |
| | | 0.600 | | | -20.526 |
| 38 | 1 | 0.000 | | | -21.168 |
| | | 0.000 | -0.311 | 0.096 | |
| | | 0.600 | -0.311 | -0.091 | |
| | | 0.600 | | | -21.168 |
| 39 | 1 | 0.000 | | | -0.466 |
| | | 0.000 | 0.003 | 0.002 | |
| | | 0.600 | 0.003 | 0.004 | |
| | | 0.600 | | | -0.466 |
| 40 | 1 | 0.000 | | | 0.055 |
| | | 0.000 | -0.001 | 0.000 | |
| | | 0.600 | -0.001 | 0.000 | |
| | | 0.600 | | | 0.055 |
| 41 | 1 | 0.000 | | | -0.009 |
| | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| | | 0.600 | 0.000 | 0.000 | |
| | | 0.600 | | | -0.009 |
| 42 | 1 | 0.000 | | | 0.055 |
| | | 0.000 | 0.001 | 0.000 | |
| | | 0.600 | 0.001 | 0.000 | |
| | | 0.600 | | | 0.055 |
| 43 | 1 | 0.000 | | | -0.466 |
| | | 0.000 | -0.003 | -0.002 | |
| | | 0.600 | -0.003 | -0.004 | |
| | | 0.600 | | | -0.466 |
| 44 | 1 | 0.000 | | | -21.168 |
| | | 0.000 | 0.311 | -0.096 | |
| | | 0.600 | 0.311 | 0.091 | |
| | | 0.600 | | | -21.168 |
| 45 | 1 | 0.000 | | | -20.526 |
| | | 0.000 | 0.600 | -0.180 | |
| | | 0.600 | 0.600 | 0.180 | |
| | | 0.600 | | | -20.526 |
| 46 | 1 | 0.000 | | | -20.849 |
| | | 0.000 | 0.575 | -0.173 | |
| | | 0.600 | 0.575 | 0.172 | |
| | | 0.600 | | | -20.849 |
| 47 | 1 | 0.000 | | | -20.841 |
| | | 0.000 | 0.576 | -0.173 | |
| | | 0.600 | 0.576 | 0.173 | |
| | | 0.600 | | | -20.841 |
| 48 | 1 | 0.000 | | | -20.676 |
| | | 0.000 | 0.587 | -0.176 | |
| | | 0.600 | 0.587 | 0.176 | |
| | | 0.600 | | | -20.676 |

| | | | | | | | | | |
|----|---|-------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|--------|
| 49 | 1 | 0.000 | | | -21.217 | | | | |
| | | 0.000 | 0.469 | -0.141 | | | | | |
| | | 0.600 | 0.469 | 0.140 | | | | | |
| | | 0.600 | | | -21.217 | | | | |
| 50 | 1 | 0.000 | | | 24.190 | | | | |
| | | 0.000 | -0.019 | 0.007 | | | | | |
| | | 0.708 | -0.019 | -0.006 | | | | | |
| | | 0.708 | | | 24.190 | | | | |
| 51 | 1 | 0.000 | | | 24.613 | | | | |
| | | 0.000 | -0.022 | 0.007 | | | | | |
| | | 0.708 | -0.022 | -0.008 | | | | | |
| | | 0.708 | | | 24.613 | | | | |
| 52 | 1 | 0.000 | | | 24.564 | | | | |
| | | 0.000 | -0.021 | 0.007 | | | | | |
| | | 0.708 | -0.021 | -0.009 | | | | | |
| | | 0.708 | | | 24.564 | | | | |
| 53 | 1 | 0.000 | | | 24.662 | | | | |
| | | 0.000 | -0.022 | 0.006 | | | | | |
| | | 0.708 | -0.022 | -0.009 | | | | | |
| | | 0.708 | | | 24.662 | | | | |
| 54 | 1 | 0.000 | | | 23.634 | | | | |
| | | 0.000 | -0.016 | 0.003 | | | | | |
| | | 0.708 | -0.016 | -0.008 | | | | | |
| | | 0.708 | | | 23.634 | | | | |
| 55 | 1 | 0.000 | | | 0.796 | | | | |
| | | 0.000 | -0.008 | 0.000 | | | | | |
| | | 0.708 | -0.008 | -0.006 | | | | | |
| | | 0.708 | | | 0.796 | | | | |
| 56 | 1 | 0.000 | | | -0.016 | | | | |
| | | 0.000 | 0.001 | -0.002 | | | | | |
| | | 0.708 | 0.001 | -0.002 | | | | | |
| | | 0.708 | | | -0.016 | | | | |
| 57 | 1 | 0.000 | | | 0.004 | | | | |
| | | 0.000 | 0.000 | -0.002 | | | | | |
| | | 0.708 | 0.000 | -0.002 | | | | | |
| | | 0.708 | | | 0.004 | | | | |
| 58 | 1 | 0.000 | | | 0.004 | | | | |
| | | 0.000 | 0.000 | 0.002 | | | | | |
| | | 0.708 | 0.000 | 0.002 | | | | | |
| | | 0.708 | | | 0.004 | | | | |
| 59 | 1 | 0.000 | | | -0.016 | | | | |
| | | 0.000 | -0.001 | 0.002 | | | | | |
| | | 0.708 | -0.001 | 0.002 | | | | | |
| | | 0.708 | | | -0.016 | | | | |
| 60 | 1 | 0.000 | | | 0.796 | | | | |
| | | 0.000 | 0.008 | 0.000 | | | | | |
| | | 0.708 | 0.008 | 0.006 | | | | | |
| | | 0.708 | | | 0.796 | | | | |
| 61 | 1 | 0.000 | | | 23.634 | | | | |
| | | 0.000 | 0.016 | -0.003 | | | | | |
| | | 0.708 | 0.016 | 0.008 | | | | | |
| | | 0.708 | | | 23.634 | | | | |
| 62 | 1 | 0.000 | | | 24.662 | | | | |
| | | 0.000 | 0.022 | -0.006 | | | | | |
| | | 0.708 | 0.022 | 0.009 | | | | | |
| | | 0.708 | | | 24.662 | | | | |
| 63 | 1 | 0.000 | | | 24.564 | | | | |
| | | 0.000 | 0.021 | -0.007 | | | | | |
| | | | | | | 0.708 | 0.021 | 0.009 | |
| | | | | | | 0.708 | | | 24.564 |
| 64 | 1 | 0.000 | | | 24.613 | | | | |
| | | 0.000 | 0.022 | -0.007 | | | | | |
| | | 0.708 | 0.022 | 0.008 | | | | | |
| | | 0.708 | | | 24.613 | | | | |
| 65 | 1 | 0.000 | | | 24.190 | | | | |
| | | 0.000 | 0.019 | -0.007 | | | | | |
| | | 0.708 | 0.019 | 0.006 | | | | | |
| | | 0.708 | | | 24.190 | | | | |

ANALISIS SAP90 HASIL PENELITIAN

Benda uji I Sudut 45°

STRUKTUR CANAI
SYSTEM
L=1

JOINT
1 X=0 Y=0 Z=0
11 X=6 Y=0 Z=0 G=1,11,1
12 X=0 Y=0 Z=0.6
22 X=6 Y=0 Z=0.6 G=12,22,1

RESTRAINTS
1,22,1 R=0,1,0,1,0,1
1 R=1,1,1,1,0,1
11 R=0,1,1,1,0,1

FRAME
NM=3

C MATERIAL OF PROPERTI
1 SH=C T=0.05,0.1,0.002,0.002 E=2E8
2 SH=P T=0.038,0
3 SH=P T=0.020,0

C ELEMENT
1,1,2 M=1 G=9,1,1,1 LP=-2,0
11,12,13 M=1 G=9,1,1,1
21,1,12 M=2 G=10,1,1,1
32,2,12 M=3 G=4,1,1,1
37,6,18 M=3 G=4,1,1,1

LOADS
15 F=0,0,-21
19 F=0,0,-21

STRUKTUR CANAI

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

| JOINT | U(X) | U(Z) | R(Y) |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 0.000000 | 0.000000 | 0.005118 |
| 2 | 0.000003 | -0.003266 | 0.005110 |
| 3 | 0.000132 | -0.006286 | 0.004499 |
| 4 | 0.000389 | -0.008781 | 0.003018 |
| 5 | 0.000769 | -0.009992 | 0.001262 |
| 6 | 0.001151 | -0.010373 | 0.000000 |
| 7 | 0.001533 | -0.009992 | -0.001262 |
| 8 | 0.001913 | -0.008781 | -0.003018 |
| 9 | 0.002170 | -0.006286 | -0.004499 |
| 10 | 0.002299 | -0.003266 | -0.005110 |
| 11 | 0.002301 | 0.000000 | -0.005118 |
| 12 | 0.002672 | -0.000054 | 0.005111 |
| 13 | 0.002546 | -0.003320 | 0.005104 |
| 14 | 0.002293 | -0.006339 | 0.004509 |
| 15 | 0.001915 | -0.008835 | 0.002960 |
| 16 | 0.001533 | -0.009992 | 0.001210 |
| 17 | 0.001151 | -0.010373 | 0.000000 |
| 18 | 0.000769 | -0.009992 | -0.001210 |
| 19 | 0.000386 | -0.008835 | -0.002960 |
| 20 | 0.000008 | -0.006339 | -0.004509 |
| 21 | -0.000245 | -0.003320 | -0.005104 |
| 22 | -0.000370 | -0.000054 | -0.005111 |

STRUKTUR CANAI

R E A C T I O N S A N D A P P L I E D F O R C E S

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

| JOINT | F(X) | F(Z) | M(Y) |
|-------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.0000 | 21.0000 | 0.0000 |
| 2 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 3 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 5 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 6 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 7 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 8 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 9 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 10 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 11 | 0.0000 | 21.0000 | 0.0000 |
| 12 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 13 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 14 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 15 | 0.0000 | -21.0000 | 0.0000 |
| 16 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 17 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 18 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 19 | 0.0000 | -21.0000 | 0.0000 |
| 20 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 21 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 22 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

TOTAL 0.6356E-15 0.3553E-14 0.1995E-14

```

          $$$$$$          $$$$$$$$          $$$$$$          $$$$$$$$          $$$$$$
        $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$
      $$$          $$$          $$$          $$$          $$$          $$$          $$$
    $$$          $$$          $$$          $$$          $$$          $$$          $$$
  $$$          $$$          $$$          $$$          $$$          $$$          $$$
 $$$          $$$          $$$          $$$          $$$          $$$          $$$
$$$          $$$          $$$          $$$          $$$          $$$          $$$

```

STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS
VERSION P5.40

Copyright (C) 1978-1992
EDWARD L. WILSON
All rights reserved

STRUKTUR CANAI

FRAME ELEMENT FORCES

| ELT ID | LOAD COND | DIST ENDI | 1-2 PLANE SHEAR | MOMENT | AXIAL FORCE |
|--------|-----------|-----------|-----------------|--------|-------------|
| ----- | | | | | |
| 1 | 1 | 0.000 | | | 0.445 |
| | | 0.000 | 0.448 | -0.134 | |
| | | 0.600 | 0.448 | 0.135 | |
| | | 0.600 | | | 0.445 |
| ----- | | | | | |
| 2 | 1 | 0.000 | | | 21.134 |
| | | 0.000 | 0.309 | -0.042 | |
| | | 0.600 | 0.309 | 0.143 | |
| | | 0.600 | | | 21.134 |
| ----- | | | | | |
| 3 | 1 | 0.000 | | | 42.137 |
| | | 0.000 | 0.542 | -0.041 | |
| | | 0.600 | 0.542 | 0.284 | |
| | | 0.600 | | | 42.137 |
| ----- | | | | | |
| 4 | 1 | 0.000 | | | 62.322 |
| | | 0.000 | -0.165 | 0.194 | |
| | | 0.600 | -0.165 | 0.095 | |
| | | 0.600 | | | 62.322 |
| ----- | | | | | |
| 5 | 1 | 0.000 | | | 62.681 |
| | | 0.000 | 0.006 | 0.102 | |
| | | 0.600 | 0.006 | 0.106 | |
| | | 0.600 | | | 62.681 |
| ----- | | | | | |
| 6 | 1 | 0.000 | | | 62.681 |
| | | 0.000 | -0.006 | 0.106 | |
| | | 0.600 | -0.006 | 0.102 | |
| | | 0.600 | | | 62.681 |
| ----- | | | | | |
| 7 | 1 | 0.000 | | | 62.322 |
| | | 0.000 | 0.165 | 0.095 | |
| | | 0.600 | 0.165 | 0.194 | |
| | | 0.600 | | | 62.322 |
| ----- | | | | | |
| 8 | 1 | 0.000 | | | 42.137 |
| | | 0.000 | -0.542 | 0.284 | |
| | | 0.600 | -0.542 | -0.041 | |
| | | 0.600 | | | 42.137 |
| ----- | | | | | |
| 9 | 1 | 0.000 | | | 21.134 |
| | | 0.000 | -0.309 | 0.143 | |
| | | 0.600 | -0.309 | -0.042 | |
| | | 0.600 | | | 21.134 |

| | | | | | |
|-------|---|-------|--------|--------|---------|
| ----- | | | | | |
| 10 | 1 | 0.000 | | | 0.445 |
| | | 0.000 | -0.448 | 0.135 | |
| | | 0.600 | -0.448 | -0.134 | |
| | | 0.600 | | | 0.445 |
| ----- | | | | | |
| 11 | 1 | 0.000 | | | -20.551 |
| | | 0.000 | 0.454 | -0.135 | |
| | | 0.600 | 0.454 | 0.137 | |
| | | 0.600 | | | -20.551 |
| ----- | | | | | |
| 12 | 1 | 0.000 | | | -41.532 |
| | | 0.000 | 0.305 | -0.043 | |
| | | 0.600 | 0.305 | 0.141 | |
| | | 0.600 | | | -41.532 |
| ----- | | | | | |
| 13 | 1 | 0.000 | | | -62.023 |
| | | 0.000 | 0.577 | -0.046 | |
| | | 0.600 | 0.577 | 0.301 | |
| | | 0.600 | | | -62.023 |
| ----- | | | | | |
| 14 | 1 | 0.000 | | | -62.706 |
| | | 0.000 | -0.212 | 0.208 | |
| | | 0.600 | -0.212 | 0.090 | |
| | | 0.600 | | | -62.706 |
| ----- | | | | | |
| 15 | 1 | 0.000 | | | -62.634 |
| | | 0.000 | 0.039 | 0.089 | |
| | | 0.600 | 0.039 | 0.111 | |
| | | 0.600 | | | -62.634 |
| ----- | | | | | |
| 16 | 1 | 0.000 | | | -62.634 |
| | | 0.000 | -0.039 | 0.111 | |
| | | 0.600 | -0.039 | 0.089 | |
| | | 0.600 | | | -62.634 |
| ----- | | | | | |
| 17 | 1 | 0.000 | | | -62.706 |
| | | 0.000 | 0.212 | 0.080 | |
| | | 0.600 | 0.212 | 0.208 | |
| | | 0.600 | | | -62.706 |
| ----- | | | | | |
| 18 | 1 | 0.000 | | | -62.023 |
| | | 0.000 | -0.577 | 0.301 | |
| | | 0.600 | -0.577 | -0.046 | |
| | | 0.600 | | | -62.023 |
| ----- | | | | | |
| 19 | 1 | 0.000 | | | -41.532 |
| | | 0.000 | -0.305 | 0.141 | |
| | | 0.600 | -0.305 | -0.043 | |
| | | 0.600 | | | -41.532 |

| | | | | | |
|----|---|-------|--------|--------|---------|
| 20 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -20.551 |
| | | 0.000 | -0.454 | 0.137 | |
| | | 0.600 | -0.454 | -0.135 | |
| | | 0.600 | | | -20.551 |
| 21 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -20.552 |
| | | 0.000 | -0.445 | 0.134 | |
| | | 0.600 | -0.445 | -0.133 | |
| | | 0.600 | | | -20.552 |
| 22 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -20.238 |
| | | 0.000 | -0.583 | 0.175 | |
| | | 0.600 | -0.583 | -0.175 | |
| | | 0.600 | | | -20.238 |
| 23 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -20.153 |
| | | 0.000 | -0.605 | 0.181 | |
| | | 0.600 | -0.605 | -0.182 | |
| | | 0.600 | | | -20.153 |
| 24 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -20.587 |
| | | 0.000 | -0.299 | 0.092 | |
| | | 0.600 | -0.299 | -0.089 | |
| | | 0.600 | | | -20.587 |
| 25 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -0.206 |
| | | 0.000 | 0.025 | -0.006 | |
| | | 0.600 | 0.025 | 0.009 | |
| | | 0.600 | | | -0.206 |
| 26 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | 0.079 |
| | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| | | 0.600 | 0.000 | 0.000 | |
| | | 0.600 | | | 0.079 |
| 27 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -0.206 |
| | | 0.000 | -0.025 | 0.006 | |
| | | 0.600 | -0.025 | -0.009 | |
| | | 0.600 | | | -0.206 |
| 28 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -20.587 |
| | | 0.000 | 0.299 | -0.092 | |
| | | 0.600 | 0.299 | 0.089 | |
| | | 0.600 | | | -20.587 |
| 29 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -20.153 |
| | | 0.000 | 0.605 | -0.181 | |
| | | 0.600 | 0.605 | 0.182 | |
| | | 0.600 | | | -20.153 |
| 30 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -20.238 |
| | | 0.000 | 0.583 | -0.175 | |
| | | 0.600 | 0.583 | 0.175 | |
| | | 0.600 | | | -20.238 |
| 31 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -20.552 |
| | | 0.000 | 0.445 | -0.134 | |
| | | 0.600 | 0.445 | 0.133 | |
| | | 0.600 | | | -20.552 |
| 32 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | 28.429 |
| | | 0.000 | -0.005 | 0.002 | |
| | | 0.849 | -0.005 | -0.002 | |
| | | 0.849 | | | 28.429 |
| 33 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | 28.839 |
| | | 0.000 | -0.008 | 0.002 | |
| | | 0.849 | -0.008 | -0.005 | |
| | | 0.849 | | | 28.839 |
| 34 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | 28.120 |
| | | 0.000 | -0.004 | -0.001 | |

| | | | | | | |
|----|---|-------|--------|--------|--------|--------|
| | | | 0.849 | -0.004 | -0.004 | |
| | | | 0.849 | | | 28.120 |
| 35 | | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | | 0.537 |
| | | 0.000 | -0.005 | -0.001 | | |
| | | 0.849 | -0.005 | -0.005 | | |
| | | 0.849 | | | | 0.537 |
| 36 | | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | | -0.065 |
| | | 0.000 | 0.001 | -0.003 | | |
| | | 0.849 | 0.001 | -0.002 | | |
| | | 0.849 | | | | -0.065 |
| 37 | | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | | -0.065 |
| | | 0.000 | -0.001 | 0.003 | | |
| | | 0.849 | -0.001 | 0.002 | | |
| | | 0.849 | | | | -0.065 |
| 38 | | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | | 0.537 |
| | | 0.000 | 0.005 | 0.001 | | |
| | | 0.849 | 0.005 | 0.005 | | |
| | | 0.849 | | | | 0.537 |
| 39 | | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | | 28.120 |
| | | 0.000 | 0.004 | 0.001 | | |
| | | 0.849 | 0.004 | 0.004 | | |
| | | 0.849 | | | | 28.120 |
| 40 | | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | | 28.839 |
| | | 0.000 | 0.008 | -0.002 | | |
| | | 0.849 | 0.008 | 0.005 | | |
| | | 0.849 | | | | 28.839 |
| 41 | | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | | 28.429 |
| | | 0.000 | 0.005 | -0.002 | | |
| | | 0.849 | 0.005 | 0.002 | | |
| | | 0.849 | | | | 28.429 |

Benda uji II Sudut 50°

STRUKTUR CANAI
SYSTEM
L=1

JOINT

| | | | | |
|----|-----|-----|-------|-----------|
| 1 | X=0 | Y=0 | Z=0 | |
| 13 | X=6 | Y=0 | Z=0 | G=1,13,1 |
| 14 | X=0 | Y=0 | Z=0.6 | |
| 26 | X=6 | Y=0 | Z=0.6 | G=14,26,1 |

RESTRAINTS

| | |
|--------|---------------|
| 1,26,1 | R=0,1,0,1,0,1 |
| 1 | R=1,1,1,1,0,1 |
| 13 | R=0,1,1,1,0,1 |

FRAME

NM=3

C MATERIAL OF PROPERTI

| | | | |
|---|------|------------------------|-------|
| 1 | SH=C | T=0.05,0.1,0.002,0.002 | E=2E8 |
| 2 | SH=P | T=0.038,0 | |
| 3 | SH=P | T=0.020,0 | |

C ELEMENT

| | | | |
|----------|-----|------------|---------|
| 1,1,2 | M=1 | G=11,1,1,1 | LP=-2,0 |
| 13,14,15 | M=1 | G=11,1,1,1 | |
| 25,1,14 | M=2 | G=12,1,1,1 | |
| 38,2,14 | M=3 | G=5,1,1,1 | |
| 44,7,21 | M=3 | G=5,1,1,1 | |

LOADS

| | |
|----|--------------|
| 18 | F=0,0,-19.25 |
| 22 | F=0,0,-19.25 |

STRUKTUR CANAI

REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

| JOINT | F(X) | F(Z) | M(Y) |
|-------|-------------|------------|------------|
| 1 | 0.0000 | 19.2500 | 0.0000 |
| 2 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 3 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 5 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 6 | 0.0000E+00 | 0.1252E-11 | 0.0000E+00 |
| 7 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 8 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 9 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 10 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 11 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 12 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 13 | 0.0000 | 19.2500 | 0.0000 |
| 14 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 15 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 16 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 17 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 18 | 0.0000 | -19.2500 | 0.0000 |
| 19 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 20 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 21 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 22 | 0.0000 | -19.2500 | 0.0000 |
| 23 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 24 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 25 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 26 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TOTAL | -0.2001E-14 | 0.1066E-13 | 0.6988E-14 |

STRUKTUR CANAI

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

| JOINT | U(X) | U(Z) | R(Y) |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 0.000000 | 0.000000 | 0.004915 |
| 2 | 0.000002 | -0.002594 | 0.004948 |
| 3 | 0.000084 | -0.005057 | 0.004517 |
| 4 | 0.000248 | -0.007250 | 0.003886 |
| 5 | 0.000492 | -0.009026 | 0.002583 |
| 6 | 0.000815 | -0.009896 | 0.001085 |
| 7 | 0.001139 | -0.010166 | 0.000000 |
| 8 | 0.001464 | -0.009896 | -0.001085 |
| 9 | 0.001786 | -0.009026 | -0.002583 |
| 10 | 0.002031 | -0.007250 | -0.003886 |
| 11 | 0.002194 | -0.005057 | -0.004517 |
| 12 | 0.002277 | -0.002594 | -0.004948 |
| 13 | 0.002279 | 0.000000 | -0.004915 |
| 14 | 0.002592 | -0.000050 | 0.004904 |
| 15 | 0.002512 | -0.002643 | 0.004948 |
| 16 | 0.002351 | -0.005106 | 0.004512 |
| 17 | 0.002109 | -0.007299 | 0.003895 |
| 18 | 0.001788 | -0.009076 | 0.002524 |
| 19 | 0.001464 | -0.009897 | 0.001029 |
| 20 | 0.001139 | -0.010166 | 0.000000 |
| 21 | 0.000815 | -0.009897 | -0.001029 |
| 22 | 0.000491 | -0.009076 | -0.002524 |
| 23 | 0.000169 | -0.007299 | -0.003895 |
| 24 | -0.000073 | -0.005106 | -0.004512 |
| 25 | -0.000233 | -0.002643 | -0.004948 |
| 26 | -0.000313 | -0.000050 | -0.004904 |

```

          $$$$$$          $$$$$$$$          $$$$$$          $$$$$$$$          $$$$$$
        $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$
      $$$          $$$          $$$          $$$          $$$          $$$          $$$
    $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$
  $$$          $$$          $$$          $$$          $$$          $$$          $$$
$$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$
$$$$$$$$$$      $$$          $$$          $$$          $$$$$$$$$$      $$$$$$$$$$

```

STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS

VERSION P5.40

Copyright (C) 1978-1992
 EDWARD L. WILSON
 All rights reserved

STRUKTUR CANAI

FRAME ELEMENT FORCES

| ELT ID | LOAD COND | DIST ENDI | 1-2 PLANE | | AXIAL FORCE |
|--------|-----------|-----------|-----------|--------|-------------|
| | | | SHEAR | MOMENT | |
| 10 | 1 | 0.000 | | | 32.147 |
| | | 0.000 | | | 0.000 |
| | | 0.500 | -0.337 | 0.146 | -0.022 |
| | | 0.500 | | | 32.147 |
| 11 | 1 | 0.000 | | | 16.184 |
| | | 0.000 | -0.350 | 0.130 | |
| | | 0.500 | -0.350 | -0.045 | |
| | | 0.500 | | | 16.184 |
| 12 | 1 | 0.000 | | | 0.396 |
| | | 0.000 | -0.464 | 0.113 | |
| | | 0.500 | -0.464 | -0.119 | |
| | | 0.500 | | | 0.396 |
| 13 | 1 | 0.000 | | | -15.671 |
| | | 0.000 | 0.471 | -0.122 | |
| | | 0.500 | 0.471 | 0.113 | |
| | | 0.500 | | | -15.671 |
| 14 | 1 | 0.000 | | | -31.653 |
| | | 0.000 | 0.356 | -0.046 | |
| | | 0.500 | 0.356 | 0.132 | |
| | | 0.500 | | | -31.653 |
| 15 | 1 | 0.000 | | | -47.647 |
| | | 0.000 | 0.331 | -0.022 | |
| | | 0.500 | 0.331 | 0.144 | |
| | | 0.500 | | | -47.647 |
| 16 | 1 | 0.000 | | | -63.227 |
| | | 0.000 | 0.625 | -0.021 | |
| | | 0.500 | 0.625 | 0.292 | |
| | | 0.500 | | | -63.227 |
| 17 | 1 | 0.000 | | | -63.848 |
| | | 0.000 | -0.246 | 0.209 | |
| | | 0.500 | -0.246 | 0.086 | |
| | | 0.500 | | | -63.848 |
| 18 | 1 | 0.000 | | | -63.799 |
| | | 0.000 | 0.043 | 0.091 | |
| | | 0.500 | 0.043 | 0.112 | |
| | | 0.500 | | | -63.799 |
| 19 | 1 | 0.000 | | | -63.799 |
| | | 0.000 | -0.043 | 0.112 | |
| | | 0.500 | -0.043 | 0.091 | |
| | | 0.500 | | | -63.799 |
| 1 | 1 | 0.000 | | | 48.176 |
| | | 0.000 | -0.576 | 0.273 | |
| | | 0.500 | -0.576 | -0.015 | |
| | | 0.500 | | | 48.176 |

49 -----
1 0.000 0.009 -0.004 23.849
0.000 0.009 0.003
0.781 0.009 0.003
0.781 23.849

Benda uji III Sudut 60°

STRUKTUR CANAI

SYSTEM

L=1

JOINT

| | | | | |
|----|-----|-----|-------|-----------|
| 1 | X=0 | Y=0 | Z=0 | |
| 17 | X=6 | Y=0 | Z=0 | G=1,17,1 |
| 18 | X=0 | Y=0 | Z=0.6 | |
| 34 | X=6 | Y=0 | Z=0.6 | G=18,34,1 |

RESTRAINTS

| | |
|--------|---------------|
| 1,34,1 | R=0,1,0,1,0,1 |
| 1 | R=1,1,1,1,0,1 |
| 17 | R=0,1,1,1,0,1 |

FRAME

NM=3

C MATERIAL OF PROPERTI

| | | | |
|---|------|------------------------|-------|
| 1 | SH=C | T=0.05,0.1,0.002,0.002 | E=2E8 |
| 2 | SH=P | T=0.038,0 | |
| 3 | SH=P | T=0.020,0 | |

C ELEMENT

| | | | |
|----------|-----|------------|---------|
| 1,1,2 | M=1 | G=15,1,1,1 | LP=-2,0 |
| 17,18,19 | M=1 | G=15,1,1,1 | |
| 33,1,18 | M=2 | G=16,1,1,1 | |
| 50,2,18 | M=3 | G=7,1,1,1 | |
| 58,9,27 | M=3 | G=7,1,1,1 | |

LOADS

| | |
|----|---------------|
| 23 | F=0,0,-20.625 |
| 29 | F=0,0,-20.625 |

STRUKTUR CANAI

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

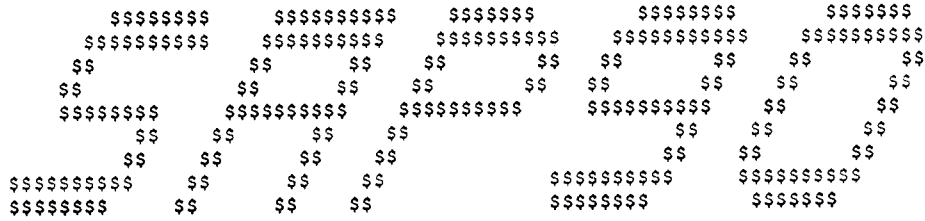
| JOINT | U(X) | U(Z) | R(Y) |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 0.000000 | 0.000000 | 0.005047 |
| 2 | 0.000002 | -0.001995 | 0.005119 |
| 3 | 0.000051 | -0.003934 | 0.004865 |
| 4 | 0.000148 | -0.005753 | 0.004466 |
| 5 | 0.000292 | -0.007393 | 0.003933 |
| 6 | 0.000485 | -0.008780 | 0.002859 |
| 7 | 0.000724 | -0.009591 | 0.001633 |
| 8 | 0.000964 | -0.010042 | 0.000798 |
| 9 | 0.001203 | -0.010191 | 0.000000 |
| 10 | 0.001443 | -0.010042 | -0.000798 |
| 11 | 0.001683 | -0.009591 | -0.001633 |
| 12 | 0.001921 | -0.008780 | -0.002859 |
| 13 | 0.002115 | -0.007393 | -0.003933 |
| 14 | 0.002259 | -0.005753 | -0.004466 |
| 15 | 0.002356 | -0.003934 | -0.004865 |
| 16 | 0.002405 | -0.001995 | -0.005119 |
| 17 | 0.002407 | 0.000000 | -0.005047 |
| 18 | 0.002636 | -0.000052 | 0.005030 |
| 19 | 0.002589 | -0.002046 | 0.005119 |
| 20 | 0.002494 | -0.003985 | 0.004865 |
| 21 | 0.002351 | -0.005804 | 0.004461 |
| 22 | 0.002160 | -0.007443 | 0.003944 |
| 23 | 0.001923 | -0.008832 | 0.002787 |
| 24 | 0.001683 | -0.009592 | 0.001557 |
| 25 | 0.001443 | -0.010042 | 0.000803 |
| 26 | 0.001203 | -0.010192 | 0.000000 |
| 27 | 0.000964 | -0.010042 | -0.000803 |
| 28 | 0.000724 | -0.009592 | -0.001557 |
| 29 | 0.000484 | -0.008832 | -0.002787 |
| 30 | 0.000247 | -0.007443 | -0.003944 |
| 31 | 0.000056 | -0.005804 | -0.004461 |
| 32 | -0.000087 | -0.003985 | -0.004865 |
| 33 | -0.000182 | -0.002046 | -0.005119 |
| 34 | -0.000229 | -0.000052 | -0.005030 |

STRUKTUR CANAI

REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

| JOINT | F(X) | F(Z) | M(Y) |
|-------|-------------|-------------|------------|
| 1 | 0.0000 | 20.2500 | 0.0000 |
| 2 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 3 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 5 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 6 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 7 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 8 | 0.0000E+00 | -0.1032E-11 | 0.0000E+00 |
| 9 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 10 | 0.0000E+00 | -0.1227E-11 | 0.0000E+00 |
| 11 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 12 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 13 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 14 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 15 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 16 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 17 | 0.0000 | 20.2500 | 0.0000 |
| 18 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 19 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 20 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 21 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 22 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 23 | 0.0000 | -20.2500 | 0.0000 |
| 24 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 25 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 26 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 27 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 28 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 29 | 0.0000 | -20.2500 | 0.0000 |
| 30 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 31 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 32 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 33 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 34 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| TOTAL | -0.9032E-13 | 0.2203E-12 | 0.1049E-13 |



STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS

VERSION P5.40

Copyright (C) 1978-1992

EDWARD L. WILSON

All rights reserved

STRUKTUR CANAI

FRAME ELEMENT FORCES

| ELT ID | LOAD COND | DIST ENDI | 1-2 PLANE SHEAR | MOMENT | AXIAL FORCE |
|--------|-----------|-----------|-----------------|--------|-------------|
| 1 | 1 | 0.000 | | | 0.433 |
| | | 0.000 | 0.645 | -0.131 | |
| | | 0.375 | 0.645 | 0.111 | |
| | | 0.375 | | | 0.433 |
| 2 | 1 | 0.000 | | | 12.837 |
| | | 0.000 | 0.486 | -0.058 | |
| | | 0.375 | 0.486 | 0.125 | |
| | | 0.375 | | | 12.837 |
| 3 | 1 | 0.000 | | | 25.440 |
| | | 0.000 | 0.503 | -0.042 | |
| | | 0.375 | 0.503 | 0.147 | |
| | | 0.375 | | | 25.440 |
| 4 | 1 | 0.000 | | | 38.017 |
| | | 0.000 | 0.475 | -0.019 | |
| | | 0.375 | 0.475 | 0.159 | |
| | | 0.375 | | | 38.017 |
| 5 | 1 | 0.000 | | | 50.667 |
| | | 0.000 | 0.822 | -0.013 | |
| | | 0.375 | 0.822 | 0.295 | |
| | | 0.375 | | | 50.667 |
| 6 | 1 | 0.000 | | | 62.540 |
| | | 0.000 | -0.227 | 0.204 | |
| | | 0.375 | -0.227 | 0.119 | |
| | | 0.375 | | | 62.540 |
| 7 | 1 | 0.000 | | | 62.934 |
| | | 0.000 | -0.037 | 0.117 | |
| | | 0.375 | -0.037 | 0.103 | |
| | | 0.375 | | | 62.934 |
| 8 | 1 | 0.000 | | | 62.926 |
| | | 0.000 | 0.001 | 0.105 | |
| | | 0.375 | 0.001 | 0.105 | |
| | | 0.375 | | | 62.926 |
| 9 | 1 | 0.000 | | | 62.926 |
| | | 0.000 | -0.001 | 0.105 | |
| | | 0.375 | -0.001 | 0.105 | |
| | | 0.375 | | | 62.926 |

| | | | | | |
|----|---|-------|--------|--------|---------|
| 10 | 1 | 0.000 | | | 62.934 |
| | | 0.000 | 0.037 | 0.103 | |
| | | 0.375 | 0.037 | 0.117 | |
| | | 0.375 | | | 62.934 |
| 11 | 1 | 0.000 | | | 62.540 |
| | | 0.000 | 0.227 | 0.119 | |
| | | 0.375 | 0.227 | 0.204 | |
| | | 0.375 | | | 62.540 |
| 12 | 1 | 0.000 | | | 50.667 |
| | | 0.000 | -0.822 | 0.295 | |
| | | 0.375 | -0.822 | -0.013 | |
| | | 0.375 | | | 50.667 |
| 13 | 1 | 0.000 | | | 38.017 |
| | | 0.000 | -0.475 | 0.159 | |
| | | 0.375 | -0.475 | -0.019 | |
| | | 0.375 | | | 38.017 |
| 14 | 1 | 0.000 | | | 25.440 |
| | | 0.000 | -0.503 | 0.147 | |
| | | 0.375 | -0.503 | -0.042 | |
| | | 0.375 | | | 25.440 |
| 15 | 1 | 0.000 | | | 12.837 |
| | | 0.000 | -0.486 | 0.125 | |
| | | 0.375 | -0.486 | -0.058 | |
| | | 0.375 | | | 12.837 |
| 16 | 1 | 0.000 | | | 0.433 |
| | | 0.000 | -0.645 | 0.111 | |
| | | 0.375 | -0.645 | -0.131 | |
| | | 0.375 | | | 0.433 |
| 17 | 1 | 0.000 | | | -12.295 |
| | | 0.000 | 0.659 | -0.135 | |
| | | 0.375 | 0.659 | 0.112 | |
| | | 0.375 | | | -12.295 |
| 18 | 1 | 0.000 | | | -24.907 |
| | | 0.000 | 0.490 | -0.058 | |
| | | 0.375 | 0.490 | 0.125 | |
| | | 0.375 | | | -24.907 |
| 19 | 1 | 0.000 | | | -37.486 |
| | | 0.000 | 0.510 | -0.043 | |
| | | 0.375 | 0.510 | 0.149 | |
| | | 0.375 | | | -37.486 |

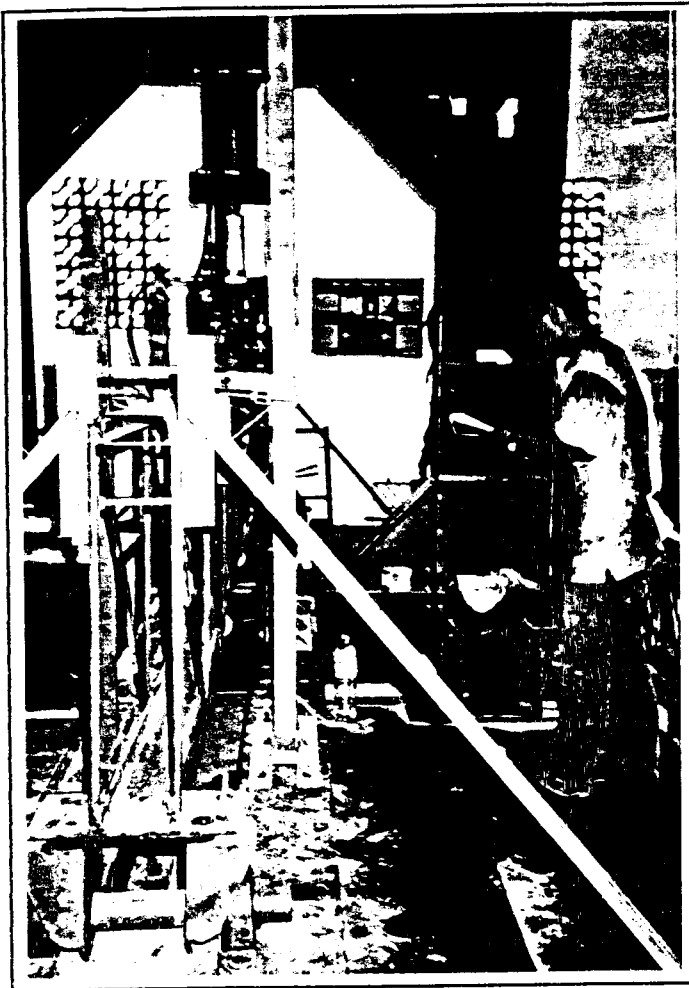
| | | | | | |
|----|---|-------|--------|--------|---------|
| 20 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -50.112 |
| | | 0.000 | 0.462 | -0.019 | |
| | | 0.375 | 0.462 | 0.155 | |
| | | 0.375 | | | -50.112 |
| 21 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -62.253 |
| | | 0.000 | 0.918 | -0.020 | |
| | | 0.375 | 0.918 | 0.324 | |
| | | 0.375 | | | -62.253 |
| 22 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -62.937 |
| | | 0.000 | -0.393 | 0.235 | |
| | | 0.375 | -0.393 | 0.088 | |
| | | 0.375 | | | -62.937 |
| 23 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -62.926 |
| | | 0.000 | 0.049 | 0.090 | |
| | | 0.375 | 0.049 | 0.109 | |
| | | 0.375 | | | -62.926 |
| 24 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -62.928 |
| | | 0.000 | -0.004 | 0.106 | |
| | | 0.375 | -0.004 | 0.105 | |
| | | 0.375 | | | -62.928 |
| 25 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -62.928 |
| | | 0.000 | 0.004 | 0.105 | |
| | | 0.375 | 0.004 | 0.106 | |
| | | 0.375 | | | -62.928 |
| 26 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -62.926 |
| | | 0.000 | -0.049 | 0.109 | |
| | | 0.375 | -0.049 | 0.090 | |
| | | 0.375 | | | -62.926 |
| 27 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -62.937 |
| | | 0.000 | 0.393 | 0.088 | |
| | | 0.375 | 0.393 | 0.235 | |
| | | 0.375 | | | -62.937 |
| 28 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -62.253 |
| | | 0.000 | -0.918 | 0.324 | |
| | | 0.375 | -0.918 | -0.020 | |
| | | 0.375 | | | -62.253 |
| 29 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -50.112 |
| | | 0.000 | -0.462 | 0.155 | |
| | | 0.375 | -0.462 | -0.019 | |
| | | 0.375 | | | -50.112 |
| 30 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -37.486 |
| | | 0.000 | -0.510 | 0.149 | |
| | | 0.375 | -0.510 | -0.043 | |
| | | 0.375 | | | -37.486 |
| 31 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -24.907 |
| | | 0.000 | -0.490 | 0.125 | |
| | | 0.375 | -0.490 | -0.058 | |
| | | 0.375 | | | -24.907 |
| 32 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -12.295 |
| | | 0.000 | -0.659 | 0.112 | |
| | | 0.375 | -0.659 | -0.135 | |
| | | 0.375 | | | -12.295 |
| 33 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -19.605 |
| | | 0.000 | -0.433 | 0.131 | |
| | | 0.600 | -0.433 | -0.129 | |
| | | 0.600 | | | -19.605 |
| 34 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -19.105 |
| | | 0.000 | -0.542 | 0.163 | |

| | | | | | |
|----|---|-------|--------|--------|---------|
| | | 0.600 | -0.542 | -0.163 | |
| | | 0.600 | | | -19.105 |
| 35 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -19.258 |
| | | 0.000 | -0.533 | 0.160 | |
| | | 0.600 | -0.533 | -0.160 | |
| | | 0.600 | | | -19.258 |
| 36 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -19.265 |
| | | 0.000 | -0.531 | 0.160 | |
| | | 0.600 | -0.531 | -0.159 | |
| | | 0.600 | | | -19.265 |
| 37 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -19.966 |
| | | 0.000 | -0.555 | 0.166 | |
| | | 0.600 | -0.555 | -0.167 | |
| | | 0.600 | | | -19.966 |
| 38 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -19.560 |
| | | 0.000 | -0.287 | 0.089 | |
| | | 0.600 | -0.287 | -0.084 | |
| | | 0.600 | | | -19.560 |
| 39 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -0.430 |
| | | 0.000 | 0.003 | 0.002 | |
| | | 0.600 | 0.003 | 0.003 | |
| | | 0.600 | | | -0.430 |
| 40 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | 0.051 |
| | | 0.000 | -0.001 | 0.000 | |
| | | 0.600 | -0.001 | 0.000 | |
| | | 0.600 | | | 0.051 |
| 41 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -0.008 |
| | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| | | 0.600 | 0.000 | 0.000 | |
| | | 0.600 | | | -0.008 |
| 42 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | 0.051 |
| | | 0.000 | 0.001 | 0.000 | |
| | | 0.600 | 0.001 | 0.000 | |
| | | 0.600 | | | 0.051 |
| 43 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -0.430 |
| | | 0.000 | -0.003 | -0.002 | |
| | | 0.600 | -0.003 | -0.003 | |
| | | 0.600 | | | -0.430 |
| 44 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -19.560 |
| | | 0.000 | 0.287 | -0.089 | |
| | | 0.600 | 0.287 | 0.084 | |
| | | 0.600 | | | -19.560 |
| 45 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -19.966 |
| | | 0.000 | 0.555 | -0.166 | |
| | | 0.600 | 0.555 | 0.167 | |
| | | 0.600 | | | -19.966 |
| 46 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -19.265 |
| | | 0.000 | 0.531 | -0.160 | |
| | | 0.600 | 0.531 | 0.159 | |
| | | 0.600 | | | -19.265 |
| 47 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -19.258 |
| | | 0.000 | 0.533 | -0.160 | |
| | | 0.600 | 0.533 | 0.160 | |
| | | 0.600 | | | -19.258 |
| 48 | | | | | |
| | 1 | 0.000 | | | -19.105 |
| | | 0.000 | 0.542 | -0.163 | |
| | | 0.600 | 0.542 | 0.163 | |
| | | 0.600 | | | -19.105 |

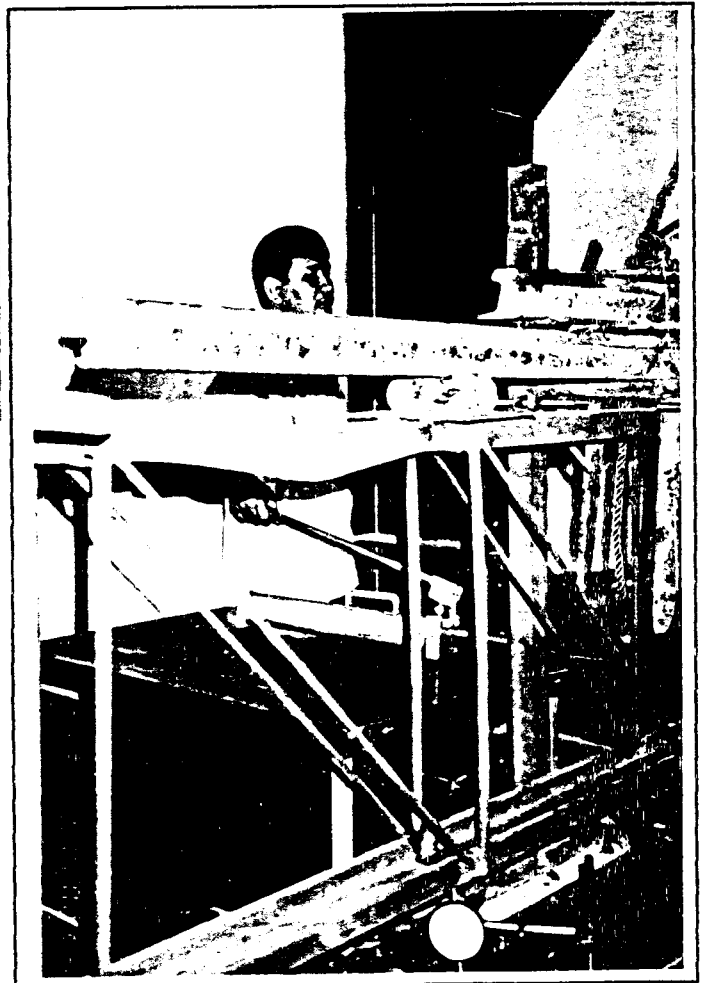
| | | | | | |
|----|---|-------|--------|--------|---------|
| 49 | 1 | 0.000 | | | -19.605 |
| | | 0.000 | 0.433 | -0.131 | |
| | | 0.600 | 0.433 | 0.129 | |
| | | 0.600 | | | -19.605 |
| 50 | 1 | 0.000 | | | 22.352 |
| | | 0.000 | -0.017 | 0.006 | |
| | | 0.708 | -0.017 | -0.006 | |
| | | 0.708 | | | 22.352 |
| 51 | 1 | 0.000 | | | 22.742 |
| | | 0.000 | -0.020 | 0.007 | |
| | | 0.708 | -0.020 | -0.008 | |
| | | 0.708 | | | 22.742 |
| 52 | 1 | 0.000 | | | 22.697 |
| | | 0.000 | -0.020 | 0.006 | |
| | | 0.708 | -0.020 | -0.008 | |
| | | 0.708 | | | 22.697 |
| 53 | 1 | 0.000 | | | 22.788 |
| | | 0.000 | -0.020 | 0.006 | |
| | | 0.708 | -0.020 | -0.008 | |
| | | 0.708 | | | 22.788 |
| 54 | 1 | 0.000 | | | 21.838 |
| | | 0.000 | -0.015 | 0.003 | |
| | | 0.708 | -0.015 | -0.008 | |
| | | 0.708 | | | 21.838 |
| 55 | 1 | 0.000 | | | 0.736 |
| | | 0.000 | -0.008 | 0.000 | |
| | | 0.708 | -0.008 | -0.005 | |
| | | 0.708 | | | 0.736 |
| 56 | 1 | 0.000 | | | -0.015 |
| | | 0.000 | 0.001 | -0.002 | |
| | | 0.708 | 0.001 | -0.001 | |
| | | 0.708 | | | -0.015 |
| 57 | 1 | 0.000 | | | 0.003 |
| | | 0.000 | 0.000 | -0.002 | |
| | | 0.708 | 0.000 | -0.002 | |
| | | 0.708 | | | 0.003 |
| 58 | 1 | 0.000 | | | 0.003 |
| | | 0.000 | 0.000 | 0.002 | |
| | | 0.708 | 0.000 | 0.002 | |
| | | 0.708 | | | 0.003 |
| 59 | 1 | 0.000 | | | -0.015 |
| | | 0.000 | -0.001 | 0.002 | |
| | | 0.708 | -0.001 | 0.001 | |
| | | 0.708 | | | -0.015 |
| 60 | 1 | 0.000 | | | 0.736 |
| | | 0.000 | 0.008 | 0.000 | |
| | | 0.708 | 0.008 | 0.005 | |
| | | 0.708 | | | 0.736 |
| 61 | 1 | 0.000 | | | 21.839 |
| | | 0.000 | 0.015 | -0.003 | |
| | | 0.708 | 0.015 | 0.008 | |
| | | 0.708 | | | 21.839 |
| 62 | 1 | 0.000 | | | 22.788 |
| | | 0.000 | 0.020 | -0.006 | |
| | | 0.708 | 0.020 | 0.008 | |
| | | 0.708 | | | 22.788 |
| 63 | 1 | 0.000 | | | 22.697 |
| | | 0.000 | 0.020 | -0.006 | |

| | | | | | |
|----|---|-------|-------|--------|--------|
| | | 0.708 | | | |
| | | 0.708 | 0.020 | 0.008 | |
| 64 | 1 | 0.000 | | | 22.697 |
| | | 0.000 | 0.020 | -0.007 | |
| | | 0.708 | 0.020 | 0.008 | |
| | | 0.708 | | | 22.742 |
| 65 | 1 | 0.000 | | | 22.352 |
| | | 0.000 | 0.017 | -0.006 | |
| | | 0.708 | 0.017 | 0.006 | |
| | | 0.708 | | | 22.352 |

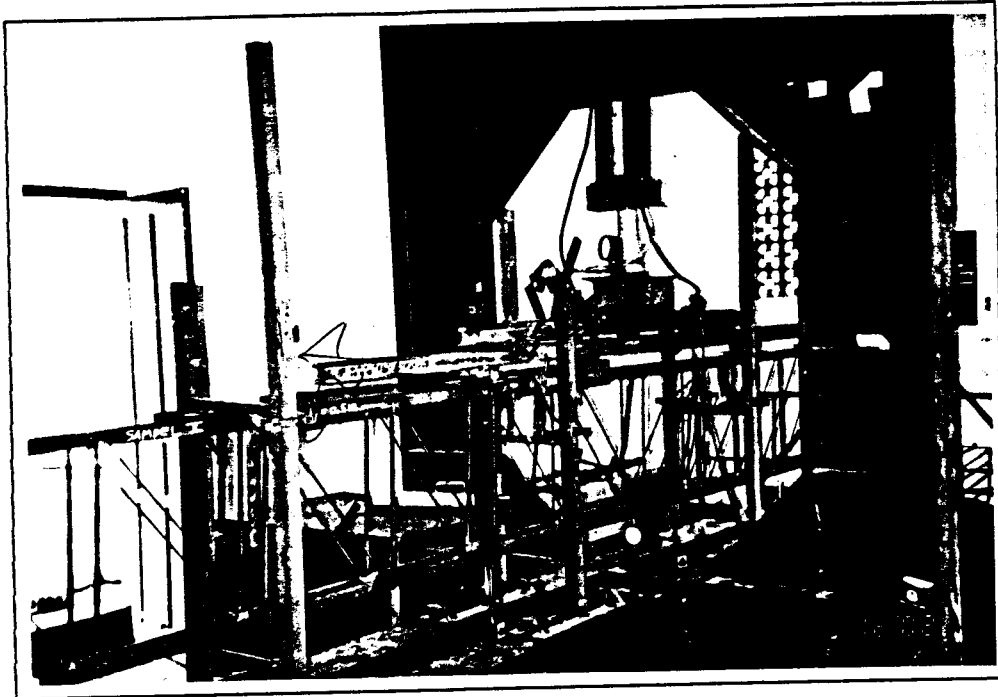
7. DOKUMENTASI PELAKSANAAN PENGUJIAN



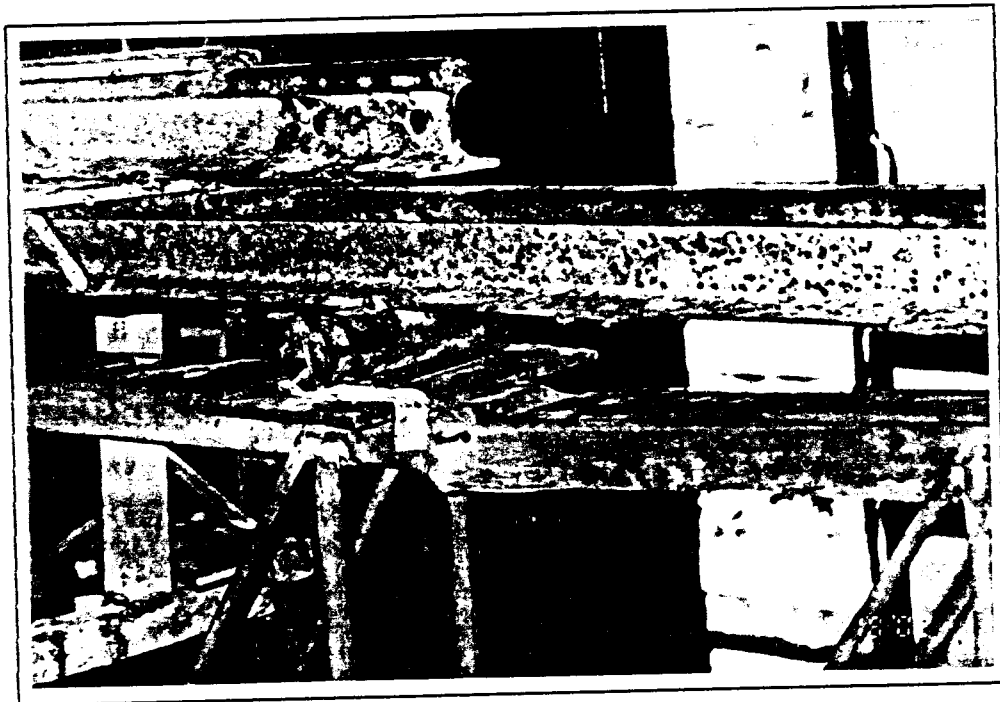
← **Gambar 7.1.a. Benda Uji I**



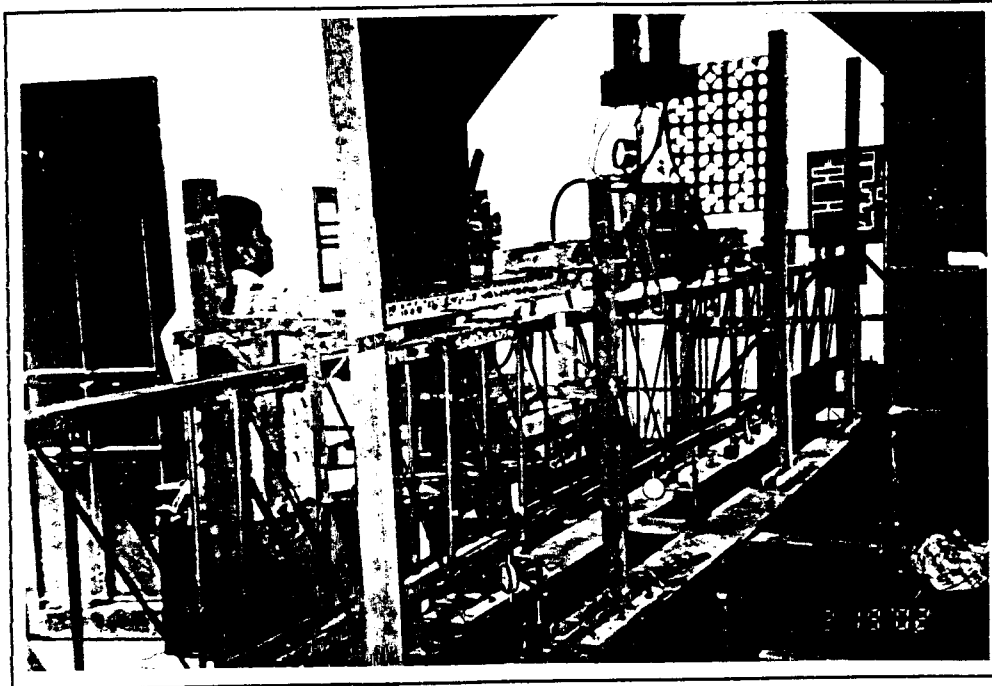
Gambar 7.1.b. Hasil Pengujian ⇒
Benda Uji I



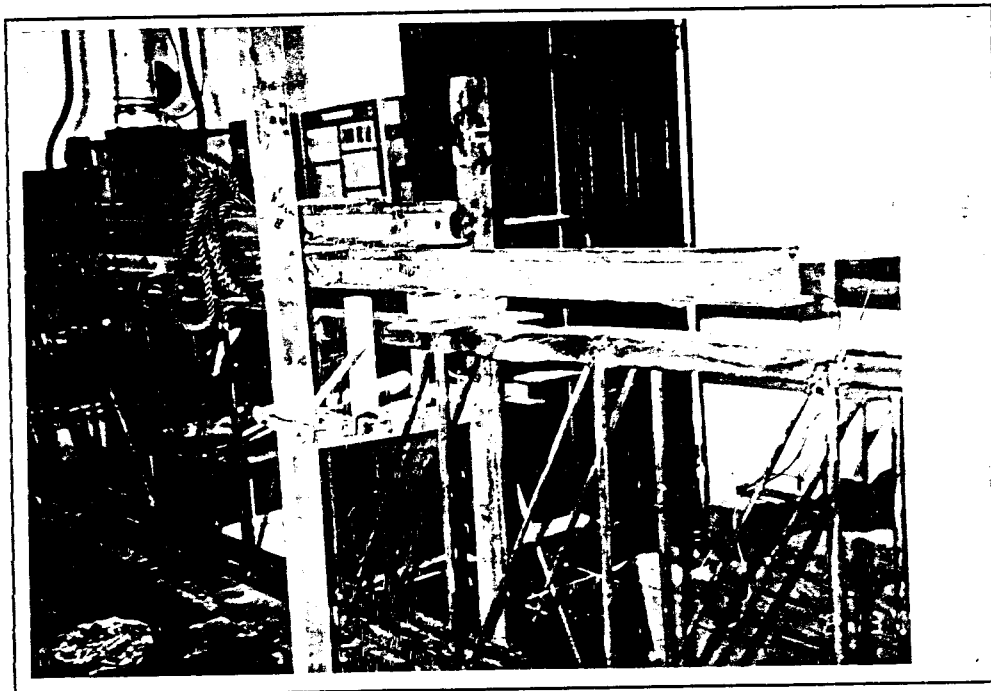
Gambar 7.2.a. Benda Uji II



**Gambar 7.2.b. Hasil Pengujian
Benda Uji II**



Gambar 7.3.a. Benda Uji III



**Gambar 7.3.b. Hasil Pengujian
Benda Uji III**